БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ И МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием
14—19 мая
Светлогорск, Калининградская область

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова

Издательство
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
2018

УДК 004.8
ББК 32.813я73
Г461

Издание осуществлено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 18-07-20017 г.

Г461 **Гибридные и синергетические интеллектуальные системы :** материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. — Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. — 466 с.

ISBN 978-5-9971-0487-0

Публикуются доклады, представленные на IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГИСИС-2018), проведенной Балтийским федеральным университетом им. И. Канта в Светлогорске Калининградской области 14—19 мая 2018 г.

Издание предназначено для научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов.

УДК 004.8
ББК 32.813я73

ISBN 978-5-9971-0487-0 © БФУ им. И. Канта, 2018

Программный комитет

Председатель — *А. В. Колесников*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта, КФ ФИЦ ИУ РАН)

Заместители председателя:

И. Б. Фоминых, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва, НИУ «МЭИ»)
В. Б. Тарасов, канд. техн. наук, доц. (Россия, Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Члены программного комитета:

Р. А. Алиев, д-р техн. наук, проф. (Азербайджан, Баку, АзГНА)
И. Б. Арефьев, д-р техн. наук, проф. (Польша, Щецин, Морская академия)
И. З. Батыршин, д-р физ.-мат. наук, проф. (Мексиканские СШ, Мехико, IPN)
А. В. Гаврилов, канд. техн. наук, доц. (Российская Федерация, Новосибирск, НГТУ)
В. В. Голенков, д-р техн. наук, проф. (Республика Беларусь, Минск, БГУИР)
В. И. Городецкий, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Санкт-Петербург, СПИИРАН)
А. П. Еремеев, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Москва, НИУ «МЭИ»)
С. М. Ковалев, д-р техн. наук, проф. (Россия, Ростов-на-Дону, РГУПС)
Л. Г. Комарцова, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Калуга, КФ МГТУ)
О. П. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Москва, ИПУ РАН)
В. М. Курейчик, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Таганрог, ТТТИ ЮФУ)
Г. С. Осипов, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Москва, ФИЦ ИУ РАН)
А. В. Павлов, д-р физ.-мат. наук, доц. (Российская Федерация, Санкт-Петербург, СПб НИУ ИТМО)
А. Б. Петровский, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Москва, ФИЦ ИУ РАН)
Г. В. Рыбина, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Москва, НИЯУ МИФИ)
Н. Г. Ярушкина, д-р техн. наук, проф. (Российская Федерация, Ульяновск, УГТУ)

Организационный комитет

Председатель — *И. А. Кириков*, канд. техн. наук, доц. (Российская Федерация, Калининград, КФ ФИЦ ИУ РАН)

Сопредседатель — *А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Заместители председателя:

С. В. Листопад, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. (Российская Федерация, Калининград, КФ ФИЦ ИУ РАН)
С. Б. Румовская, канд. техн. наук, науч. сотр. (Российская Федерация, Калининград, КФ ФИЦ ИУ РАН, БФУ им. И. Канта)

Члены организационного комитета:

А. В. Барзенков, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)
В. И. Данишевский, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)
И. А. Бенько, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)
С. А. Кузин, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)
А. С. Денисова, магистрант (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Дмитрий Александрович ПОСПЕЛОВ (родился 19 декабря 1932 г.) — специалист в области искусственного интеллекта (ИИ), доктор технических наук, профессор. Окончил в 1956 г. механико-математический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. С 1956 по 1968 г. работал в Московском энергетическом институте, где помимо преподавательской деятельности активно занимался научными исследованиями в области теории вычислительных систем, многозначных логик, теории автоматов и теории игр. С 1968 по 1998 г. трудился в Вычислительном центре АН СССР (ныне ВЦ РАН).

С 1968 г. главной областью его научной деятельности становится ИИ: моделирование поведения человека, формализация рассуждений, общие проблемы моделирования жизненных процессов в естественных и искусственных системах.

В частности, Д. А. Поспелов впервые в мире разработал подход к принятию решений, опирающийся на семиотические (логико-лингвистические) модели, который послужил теоретической основой ситуационного управления большими системами. Им создана теория «наивных» псевдофизических логик, моделирующих рассуждения «здравого смысла» о времени, пространстве, действиях, каузальных цепочках и т. д., которая обеспечивает реализацию в интеллектуальных системах рассуждений о закономерностях физического мира и действиях в нем. Д. А. Поспелов предложил формальную модель поступков, описывающую нормативное поведение, что позволяет роботам и другим системам ИИ принимать целесообразные с точки зрения норм решения.

Важнейшим достижением Д. А. Поспелова стало создание междисциплинарной, открытой научной среды, связанной с интенсивным формированием и свободным обменом идеями в процессе взаимодействия между различными научными, учебными, производственными, бизнес-структурами.

В мае 1989 г. именно Дмитрий Александрович стал главным инициатором объединения ученых и специалистов по искусственному интеллекту в официальное сообщество, названное Ассоциацией искусственного интеллекта. На учредительном съезде в городе Коломна он был избран первым президентом Ассоциации и многие годы руководил ее деятельностью.

ВЕРНОСТЬ НАУКЕ

**Доктору технических наук, профессору,
профессору Института физико-математических наук и информационных технологий
Балтийского федерального университета им. И. Канта
Александру Васильевичу Колесникову — 70 лет**

Передо мной — пожелтевшие от времени газетные страницы и документы. Вот о чем они говорят.

Вузовская газета «Знание и жизнь» за 10 июня 1971 г., где автор статьи «Итоги смотра-конкурса» И. Симонова, научный руководитель студенческого научного общества, подводя итоги смотра-конкурса на лучшую НИРС, отмечает: «Первое место жюри конкурса присудило студентам пятого курса специальности МАП Колесникову А.В. и Красильникову Ю.В. за работу по созданию математической модели Калининградского морского рыбного порта».

Областная газета «Калининградская правда» за 16 ноября 1971 г., автор статьи «Калининград студенческий. Поиск продолжается» А. Дарьялов пишет: «В диспетчерской порта, в грузовом районе стал часто появляться невысокий худощавый паренек. Главная задача, которую Саша Колесников поставил перед собой, — это понять, вникнуть в суть каждого процесса. Без этого невозможно решение сложной научной проблемы — создание системы математического моделирования порта... Над этой проблемой трудился студент Калининградского технического института Александр Колесников. ... Были выступления на межвузовской научной студенческой конференции в Риге. На столе заведующего кафедрой В.Ф. Пономарева лежит стопка дипломов и грамот, которыми были отмечены исследования студентов Колесникова, Красильникова и Иванова. Совсем недавно все трое с отличием защитили дипломные проекты, стали инженерами. И все трое продолжают большую научную работу, которая началась еще на студенческой скамье».

Из рецензии заведующего сектором проектирования автоматизированных систем управления «СЭКБ промрыболовства» Я. Черкасова на дипломный проект выпускника механического факультета КТИРПиХ А.В. Колесникова «Математическое моделирование КМРП. Алгоритмизация “внешней среды” и порта как объекта управления»: «Дипломный проект отличается тщательностью проработок, четкостью изложения, хорошим оформлением и заслуживает отличной оценки, а дипломант — присвоения звания инженера-электромеханика».

Областная газета «Калининградская правда» за 20 июня 1973 г. в статье В. Смоленского «В лабораториях ученых. АСУ: учитель и помощник», заведующий кафедрой В.Ф. Пономарев рассказывает: «Хочу назвать еще одну работу ассистента нашей кафедры А.В. Колесникова. Она вызвала большой интерес и одобрение на симпозиуме, проводившемся в Вычислительном центре Академии наук СССР. Перед молодым исследователем стояла задача создания такой модели, которая в АСУ порта выполняла бы роль “советчика” при решении задач управления. Применив метод ситуационного моделирования, он решил задачу “обучения” машины языку диспетчера, задачу чисто лингвистическую. Для этого было глубоко проанализировано содержание работы диспетчеров и составлены словари базовых понятий и отношений... раз-

работаны специальные “грамматические правила”, позволяющие строить логические предложения, то есть создать “язык диспетчерского управления”, который затем можно перевести на “язык” электронно-вычислительной машины».

Вузовская газета «Знание и жизнь» за 19 декабря 1988 г. в рубрике «Кандидаты на должность ректора предлагают тезисы своих программ», отмечает: «... канд. техн. наук, доцент А.В. Колесников – заместитель председателя Координационного совета по системам автоматизированного проектирования Минрыбхоза СССР, председатель комитета по прикладной математике и вычислительной технике областного Совета НТО, работает в межведомственном Совете по созданию областной АСУ народным хозяйством, повышения эффективности использования вычислительной техники. Награжден нагрудным знаком Минрыбхоза СССР “Отличник социалистического соревнования”».

Александр Васильевич Колесников родился 18 июня 1948 г. в Москве и учился в 201-й московской школе. С восьмого класса — уже в Калининграде. В 1966 г. закончил 18-ю среднюю общеобразовательную школу Калининграда и поступил в Калининградский технический институт рыбной промышленности и хозяйства на механический факультет на специальность «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». После окончания с отличием КТИРПиХ в 1971 г. принят в КТИРПиХ инженером научно-исследовательского сектора. В 1976—1978 гг. учился в очной аспирантуре КТИРПиХ, которую успешно, с представлением диссертации закончил в 1978 г. Диссертацию «Исследование и разработка языка описания состояния транспортных систем (на примере морского рыбного порта)» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» защитил в январе 1979 г. в Специализированном совете Северо-Западного заочного политехнического университета (Ленинград). Первым оппонентом по диссертации был профессор Д. А. Поспелов.

В 1982 г. А. В. Колесникову присвоено ученое звание доцента по кафедре систем управления и вычислительной техники. В 1984—1990 гг. он — основатель и декан факультета автоматизации производства и управления. В 1990—1998 гг. — заведующий кафедрой систем управления и вычислительной техники. В 1998—2001 гг. А. В. Колесников учился в докторантуре Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. В июне 2002 г. там же защитил диссертацию «Технология разработки гибридных интеллектуальных систем» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». Ученое звание профессора по кафедре систем управления и вычислительной техники присвоено А. В. Колесникову в 2007 г. С 2008 г. он работает профессором Института физико-математических наук и информационных технологий Балтийского федерального университета им. И. Канта.

С 2004 г. — старший научный сотрудник (по совместительству) Калининградского филиала Института проблем информатики Российской академии наук, позже Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН.

Александр Васильевич — автор 219 научно-методических и научных работ по проблемам информатики, опубликованных в российских и международных изданиях; автор и соавтор семи монографий, учебных пособий. Наиболее известные его книги — «Моделирование систем», «Машинные методы вычислений», «Автоматизированные системы управления предприятиями рыбного хозяйства», «Практикум по дискретной математике», «Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки», «Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем», «Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем» и «Гибридные адаптивные интеллектуальные системы».

В 1971—1979 гг. А. В. Колесников совместно с В. Ф. Пономаревым и И. А. Кириковым выполнил фундаментальные исследования по полиязыковым семиотическим моделям для диспетчерского управления морским рыбным портом и ситуационному управлению дислокационными операциями в акватории порта. Работы координировались проектом «Ситуация» Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме Академии наук СССР. В этот период в Калининграде было организовано и проведено несколько рабочих совещаний по проекту «Ситуация».

В 1983—1986 гг. совместно с Я. А. Гельдфандбейном и И. Д. Рудинским А. В. Колесников исследовал многомодельную семиотическую систему на примере задачи планирования погрузо-разгрузочных работ в морском рыбном порту. Полученные результаты были высоко оценены профессором Д. А. Поспеловым, отметившим, что они опережали мировой уровень развития данного направления искусственного интеллекта на 10 лет. Эти работы послужили отправной точкой для дальнейших исследований по гибридным интеллектуальным системам.

А. В. Колесников руководил хоздоговорными НИР по отраслевой тематике рыбного хозяйства, был главным конструктором типовой АСУ высшими учебными заведениями рыбного хозяйства. В 1997—2002 гг. возглавлял работы по созданию системы поддержки принятия решений по возделыванию озимой пшеницы в Калининградской области.

В 2004—2018 гг. Александр Васильевич — научный руководитель бюджетных НИР по тематике гибридных интеллектуальных систем в КФ ФИЦ «Информатика и управление» РАН. Научные результаты ст. науч. сотр., профессора А. В. Колесникова вошли в отчет о достижениях РАН в 2008 г. В 1998—2017 гг. А. В. Колесников, П. М. Клачек, Р. А. Седов, Н. А. Чемерис, С. В. Листопад, С. А. Солдатов, С. Б. Румовская, а также студенты, магистранты и аспиранты Калининградского государственного технического университета и Балтийского федерального университета им. И. Канта исследовали гибридный интеллект на примере функциональных гибридных интеллектуальных систем и решения сложных задач планирования.

А. В. Колесников стал руководителем проектов и председателем программных комитетов, поддержанных РФФИ, по организации в Калининграде двух Поспеловских симпозиумов «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (2012, 2014 гг.) и двух всероссийских Поспеловских конференций с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (2016, 2018 гг.). Он также возглавлял проект «Функциональные гибридные интеллектуальные системы поддержки принятия решений в визуальном управлении» (2016—2018 гг.), поддержанный РФФИ. Александр Васильевич подготовил четырех кандидатов технических наук. Он — председатель Калининградского регионального отделения Российской ассоциации искусственного интеллекта. Имеет государственную награду — медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» второй степени.

47 лет остается верным науке об искусственном интеллекте,
46 лет остается верным профессии преподавателя высшей школы,
32 года остается капитаном маломерного судна.

От имени Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН и Российской ассоциации искусственного интеллекта поздравляю Александра Васильевича с юбилеем, желаю крепкого здоровья, успешной преподавательской деятельности и творческих успехов в науке.

Г. С. Осипов,
заместитель директора ФИЦ «Информатика и управление» РАН,
президент Российской ассоциации искусственного интеллекта

ПРЕДИСЛОВИЕ

В начале 90-х прошлого столетия мы сидели на кафедре систем управления и вычислительной техники Калининградского технического института с Игорем Рудинским и обсуждали его будущую кандидатскую диссертацию. Я не могу точно передать содержание разговора, но речь шла о следующем: «Давай попробуем описать процесс погрузки-выгрузки судов в порту системой вероятностных автоматов, затем откомпилируем ее в модель системы массового обслуживания на языке GPSS, далее выполним имитационное моделирование и получим оценки качества работы порта. Предъявим эти оценки диспетчеру грузового района. Если они его устроят, значит, запланированный процесс можно исполнять. Если нет, изменим параметры и повторим моделирование». Мы, конечно, и не догадывались тогда, к чему приведет этот разговор, а просто начали работать. Это стало ясно после того, как в 1983—1986 гг. совместно с Яковом Ароновичем Гельдфандбейном изучали многомодельную семиотическую систему на примере задачи планирования погрузо-разгрузочных работ в морском рыбном порту. Полученные результаты высоко оценил профессор Д. А. Поспелов, отметивший, что они опередили мировой уровень развития данного направления искусственного интеллекта на 10 лет. Эти работы и послужили отправной точкой для последующих исследований по гибридным интеллектуальным системам у нас в стране.

В январе 2012 г. на защиту диссертации в ИПИ РАН в Москве по теоретическим основам информатики выходил мой ученик Сергей Листопад. Он исследовал новый класс систем искусственного интеллекта — «Гибридные интеллектуальные многоагентные системы», комбинацию гибридных и синергетических подходов. Его первым оппонентом была д-р техн. наук, профессор Надежда Глебовна Ярушкина, а предполагаемый второй оппонент канд. техн. наук, доцент Валерий Борисович Тарасов назначил нам встречу на Таганке. В тот день было холодно, и мы продолжили разговор в уютном кафе, недалеко от станции метро «Таганская». Дав согласие оппонировать, Валерий Борисович произнес сакральную фразу: «А почему бы нам с этого года не начать проводить в Калининграде симпозиум по гибридным и синергетическим интеллектуальным системам (ГИСИС)?» Поэтому можно утверждать, что ГИСИС «родился» в январе 2012 г. в Москве на Таганке. Позже он получил поддержку от Российской ассоциации нечетких систем и мягких вычислений и Российской ассоциации искусственного интеллекта.

В декабре 2012 г. я с Валерой Тарасовым и Игорем Кириковым пошли поздравлять Дмитрия Александровича Поспелова с 80-летием. Пришли с подарками, теплыми словами и пожеланиями. Я спросил Дмитрия Александровича, не будет ли он против, если нашему, только что «народившемуся» ГИСИСу присвоить имя «Поспеловский», на что растрогавшийся юбиляр дал согласие. Мне он подарил свою книгу «Амаравелла: мистическая живопись Петра Фатеева» и сделал на ней надпись: «19.12.2012. Колесников Александр. «Кру-

тится, вертится шар голубой». Д. П.». Так наш симпозиум стал называться «Международный Поспеловский симпозиум «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы».

На очередном ГИСИСе в 2014 г. д-р физ.-мат. наук, профессор, президент Российской ассоциации искусственного интеллекта Геннадий Семенович Осипов на заключительном заседании сказал примерно следующее: «Мы уже провели два симпозиума, по итогам которых стало ясно, что ГИСИСу пора присвоить статус конференции». Так наше научное мероприятие получило название «Всероссийская Поспеловская конференция с международным участием “Гибридные и интеллектуальные синергетические системы”».

Предлагаемый вашему вниманию сборник материалов составлен из докладов участников IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГИСИС-2018). К пленарным отнесены материалы программного комитета конференции; другие доклады, обсуждения, дискуссии сгруппированы в секции: «Методы и модели гибридных и интегрированных интеллектуальных систем», «Интеллектуальные системы в науке, образовании, медицине, экономике и промышленности», «Многоагентные системы, синергетический и роевой искусственный интеллект, распознавание образов, интеллектуальная робототехника», «Нечеткие модели, онтологии, мягкие и интеллектуальные вычисления». Помимо этого организационный комитет запланировал два круглых стола «Интеллектуальная электроэнергетика» и «Правополушарное рисование». На первом планируется рассмотреть проблематику искусственного интеллекта применительно к актуальным вопросам цифровизации и интеллектуализации электросетевого комплекса Калининградской области. На втором, не менее интересном, хотим обсудить важную тему комбинирования лево- и правосторонних мыслительных режимов в интересах разрешения проблемных ситуаций.

Еще одна черта ГИСИС-2018 — широкая география городов, в которых живут и трудятся участники конференции. По предварительным данным, число городов — 25. Хочется приветствовать решение докладчиков об участии в работе конференции и выразить надежду, что оно станет регулярным и полезным.

От имени программного комитета желаю всем плодотворного обмена мнениями, новых и интересных результатов.

А. В. Колесников,
председатель программного комитета,
д-р техн. наук, проф.,
проф. Института физико-математических наук
и информационных технологий БФУ им. И. Канта

А. П. Еремеев[1], В. В. Голенков[2]
[1]Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
[2]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Белоруссия
e-mail: [1]eremeev@appmat.ru, [2]golen@bsuir.by

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Введение

В настоящее время активно развиваются исследования и разработки в области комплексной информатизации, в том числе на основе методов искусственного интеллекта (ИИ), различных сфер человеческой деятельности — производственной, образовательной, научной и т. д. Это проекты «Электронная Россия», «Цифровая экономика», «Умная энергетика», «Интеллектуальные роботы» и другие. Конструируются различного типа интеллектуальные системы (ИС), среди которых отметим ИС поддержки принятия решений, помогающие человеку (лицу, принимающему решения, ЛПР) обнаруживать, классифицировать сложные проблемные ситуации и находить решения по нормализации таких ситуаций.

Одним из основателей научного направления ИИ в СССР и России Д. А. Поспеловым была предложена типология систем управления по возрастанию сложности и функциональных возможностей [1]: простые системы управления; системы с адаптацией; модельные системы; семиотические системы.

Наиболее развитые семиотические системы управления, способные модифицироваться и адаптироваться к изменениям управляемого объекта и окружающей среды, — основа современных и перспективных ИС типа ИС реального времени (ИС РВ), предназначенных для управления сложными, эволюционирующими во времени объектами и системами, в условиях различного типа неопределенности (НЕ-факторов) — неточности, неполноты, противоречивости исходной информации, нечеткости критериев управления и знаний о законах функционирования объекта и т. д. Над проблематикой создания таких систем, их математического и программного обеспечения, работают многие академические и университетские коллективы России и стран СНГ: ФИЦ «Информатика и управление» РАН, ИПУ РАН, ИПС РАН (г. Переславль-Залесский), НИУ «МЭИ», НИЯУ «МИФИ», МГТУ им. Н. Э. Баумана, Балтийский федеральный университет им. И. Канта (Калининград), Тверской ГТУ, Ростовский ГУПС, Южный ФУ, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР) и другие.

© Еремеев А. П., Голенков В. В., 2018

Исследования и разработки методов, моделей и инструментальных программных средств для создания современных ИС поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ), ориентированных на помощь ЛПР (оперативно-диспетчерскому персоналу) при диагностике, мониторинге и управлении сложными технологическими, транспортными и организационными системами, по инициативе Д. А. Поспелова и Ю. И. Клыкова более тридцати лет проводятся на кафедре прикладной математики НИУ «МЭИ» [2; 3], в том числе в последние годы в рамках проектов РФФИ-БРФФИ совместно с кафедрой интеллектуальных информационных технологий БГУИР [4; 5].

1. ИСППР РВ — интегрированная ИС семиотического типа с распределенным интеллектом

ИСППР РВ — интегрированная (гибридная) ИС распределенного интеллекта семиотического типа, состоящая из взаимодействующих интеллектуальных блоков (модулей, агентов), выполняющих различные интеллектуальные функции [6].

Основные задачи, решаемые ИСППР РВ: *диагностика и мониторинг* — выяснение где, когда и какого типа возникла проблемная ситуация; *поиск решения (планирование)* — нахождение оптимальной или допустимой относительно заданного критерия (критериев) оценки последовательности действий по достижению поставленной цели; *прогнозирование* — составление на модели прогноза развития ситуации для оценки эффективности рекомендуемых действий (решений) по разрешению проблемной ситуации; *взаимодействие с ЛПР (экспертом)* — формирование базы экспертных знаний и выдача информации (совета) ЛПР.

Специфика таких задач: необходимость получения решения в условиях временных ограничений, определяемых реальным управляемым процессом; необходимость учета временного фактора при описании проблемной ситуации и в процессе поиска решения; невозможность получения всей объективной информации, требуемой для решения, и в связи с этим использование субъективной, экспертной информации; комбинаторность и многовариантность поиска, потребность применения методов правдоподобного поиска решения и активного участия в нем ЛПР; наличие различного рода НЕ-факторов (неполнота, неопределенность, нечеткость, противоречивость и т. д.), необходимость коррекции и получения дополнительной информации в процессе поиска решения.

Так как ИСППР РВ ориентированы на помощь ЛПР в нештатных ситуациях, возникающих на сложных динамических объектах, то они, как правило, работают в режиме советчика ЛПР, т. е. без непосредственного воздействия на объект, хотя при необходимости может быть организовано и непосредственное управление, например, на основе программируемых логических контроллеров (PLC) [3].

Кроме традиционных для ИС баз данных (БД) и знаний (БЗ), блоков поиска решения, приобретения и накопления знаний, объяснения и т. д., в со-

став ИСППР РВ входят также блоки моделирования проблемной ситуации, обучения, прогнозирования, связи с внешними объектами (датчиками, контроллерами, концентраторами данных, управляющими приводами и т. д.), средства организации различного типа интерфейсов (образного, текстового, речевого, в виде графиков и диаграмм и т. д.) с пользователями (ЛПР, экспертом, инженером знаний, системным администратором). К интеллектуальным относятся функции поиска (вывода) решения на основе моделей и методов представления и оперирования динамическими знаниями, объяснения (обоснования) предлагаемого решения, прогнозирования (в том числе последствий принимаемых решений), обучения. Для поиска решения используются механизмы эвристического поиска, экспертных функций оценки, нетрадиционных логик, моделирующих рассуждения специалиста-эксперта, и методы обучения (в частности, обучение с подкреплением).

В состав базы моделей интегрированной ИСППР РВ семиотического типа входит множество формальных (имеющих ограниченное применение в силу наличия НЕ-факторов) и логико-лингвистических моделей, реализующих определенные интеллектуальные функции, причем это множество может пополняться новыми моделями, а имеющиеся модели модифицироваться и адаптироваться под управляемый объект (проблемную ситуацию). Сказанное относится и к множеству правил выбора необходимой модели или совокупности моделей в текущей ситуации, т. е. правил, реализующих отображение $R(M)$: $S \to M$, где S — множество возможных ситуаций (состояний), которое может быть и открытым, или $S' \to M$, где S' — множество обобщенных ситуаций (состояний), например нормальных (штатных), аномальных или аварийных (критических), при попадании в которые происходит смена модели.

Таким образом, в основе интегрированной ИСППР РВ лежит совокупность способных к адаптации, модификации и обучению моделей представления и оперирования знаниями, ориентированных на специфику проблемной области и соответствующего типа НЕ-факторы. В настоящее время в состав базовых моделей входят [2—8]: модели на основе нетрадиционных логик (темпоральных, нечетких, немонотонных, аргументационных и т. д.); модели на основе таблиц решений (с ограниченным и расширенным входом); модели на основе приближенных множеств; модели на основе аналогий и прецедентов; модели на основе абдукции; адаптируемые (обучаемые) немарковские модели на основе гибких (anytime) алгоритмов и обучения с подкреплением (reinforcement learning); теоретико-вероятностные модели, в том числе с использованием субъективных вероятностей (байесовские сети доверия, модели на основе теории свидетельств и др.); интегрированные и гибридные модели, сочетающие возможности строгого (достоверного) и приближенного (правдоподобного) вывода.

Остановимся несколько подробнее на применяемых интегрированных и гибридных моделях и методах. В работе [6] рассмотрен аппарат таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа. С помощью данного аппарата можно достаточно оперативно

представлять, оперировать и модифицировать (пополнять, удалять) множество (БЗ) продукционных правил. Основной недостаток продукционных правил — ориентация на представление достаточно простых (не структурированных) знаний. Для представления более сложных структурированных знаний, как известно, используются модели на основе семантических сетей и/или фреймов. Была предложена гибридная модель продукционных правил, левые (антецеденты) и правые (консеквенты) части которых — семантические сети или фреймы, а поиск решения (вывод) в продукционном цикле базируется на замене в универсуме в случае активизации соответствующей продукции антецедента на консеквент. Продукционный цикл реализуется до тех пор, пока не будет получена целевая структура или не окажется ни одного применимого правила, что является сигналом к пополнению множества (БЗ) продукционных правил.

2. Реализация прототипа ИСППР РВ для энергообъекта

Проанализируем практическое применение рассмотренного подхода в интеграции с поиском решения на основе аналогий, прецедентов и ситуационного управления, которое реализовано в виде прототипа ИСППР РВ для мониторинга и управления одной из подсистем атомного энергоблока — системы автоматического охлаждения зоны реактора (САОЗ), мнемосхема которой представлена на рисунке 1 [7].

На рисунке 2 показан метауровень СС (универсальный класс), на рисунках 3—5 — фрагменты СС, отображающие четыре ситуации, возникшие в процессе функционирования САОЗ, причем ситуация 4 — проблемная, для которой необходимо найти решения (управляющие воздействия) по ее нормализации. Классы на СС отображаются темными узлами, а объекты — светлыми.

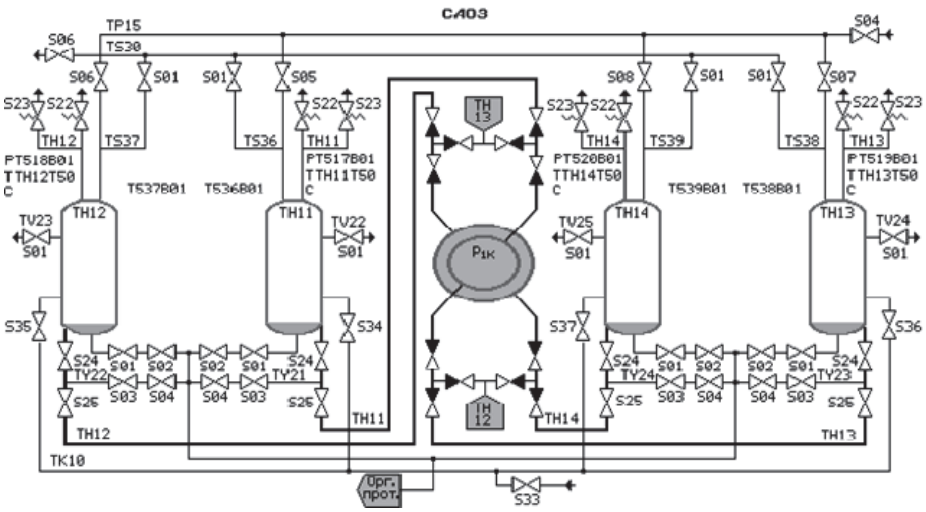


Рис. 1. Мнемосхема САОЗ

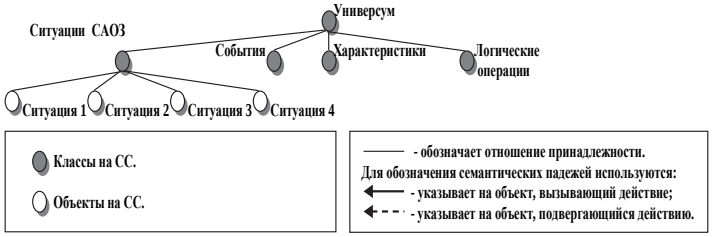


Рис. 2. Метауровневая СС

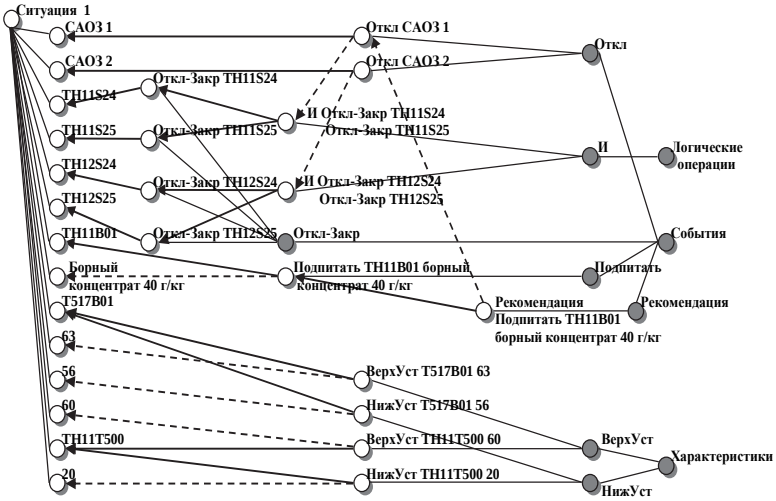


Рис. 3. СС для представления ситуации 1

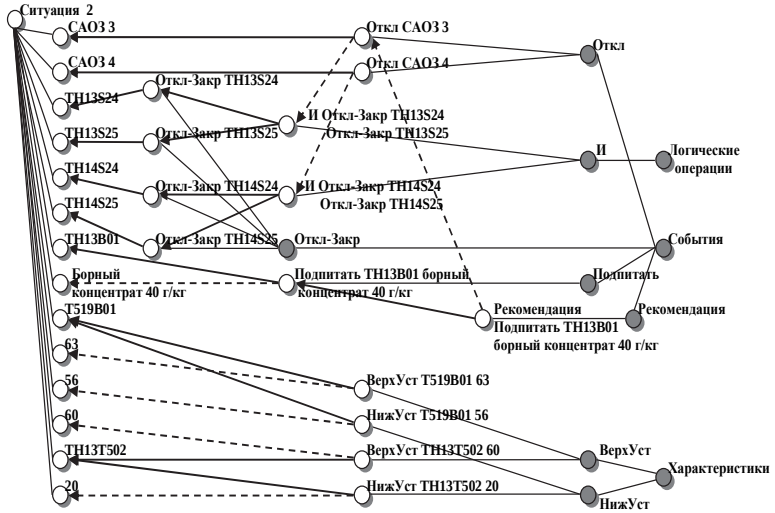


Рис. 4. СС для представления ситуации 2

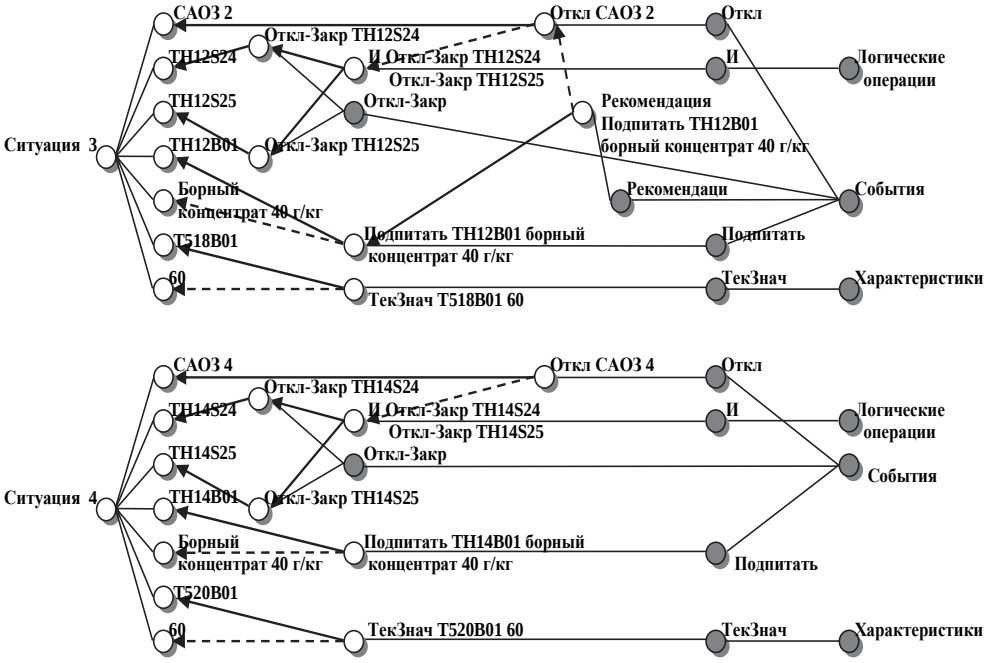


Рис. 5. СС для представления ситуаций 3 и 4

На СС представлены следующие ***классы***: *Универсум* — универсальный класс, включающий как подклассы следующие классы: *Ситуации САОЗ* — класс, содержащий четыре ситуации, возникшие в процессе функционирования САОЗ; *События* — класс событий, включающий подклассы: Откл — класс событий, которые соответствуют отключению САОЗ; Откл-Закр — класс событий, соответствующих отключению-закрытию задвижек и т. п. для САОЗ; *Подпитать* — класс событий, которые соответствуют выполнению подпитки блоков САОЗ; *Рекомендация* — класс рекомендаций, которые выдаются системой для ЛПР; *Характеристики* — класс характеристик, включающий подклассы: *ВерхУст* — класс характеристик, соответствующих верхней уставке для параметров САОЗ; *НижУст* — класс характеристик, соответствующих нижней уставке для параметров САОЗ; *ТекЗнач* — класс характеристик, соответствующих текущему значению для параметров САОЗ; *Логические операции* — класс логических операций, заданных на СС (в данном примере задана только операция конъюнкции (И)).

На СС представлены следующие ***объекты***: *Ситуация 1, Ситуация 2, Ситуация 3, Ситуация 4* — ситуации, сложившиеся в процессе функционирования САОЗ; *САОЗ 1, САОЗ 2, САОЗ 3, САОЗ 4* — системы автоматического охлаждения зоны реактора, дублирующие друг друга; *TH11S24, TH11S25,*

TH12S24, TH12S25, TH13S24, TH13S25, TH14S24, TH14S25 — задвижки для соответствующих САОЗ; *T517B01, T518B01, T519B01, T520B01* — давления в емкости соответствующих САОЗ; *TH11T500, TH13T502* — температуры корпусов соответствующих САОЗ.

Дадим содержательную интерпретацию информации, представленной на СС для Ситуации 1 (рис. 3):

— Рекомендуется «Подпитать TH11B01 борным концентратом 40 г/кг по причине отключения САОЗ 1 из-за закрытия задвижек TH11S24 и TH11S25»;

— Отключена САОЗ 2 из-за закрытия задвижек TH12S24 и TH12S25;

— Верхняя уставка T517B01 (давление в емкости САОЗ 1) равна 63;

— Нижняя уставка T517B01 (давление в емкости САОЗ 1) равна 56;

— Верхняя уставка TH11T500 (температура корпуса САОЗ 1) равна 60;

— Нижняя уставка TH11T500 (температура корпуса САОЗ 1) равна 20.

Для проблемной ситуации 4 необходимо выбрать прецеденты или аналогии из множества ситуаций 1—3 и найти управляющие воздействия, которые будут рекомендованы ЛПР для нормализации ситуации. Поскольку прецедента для ситуации 4 нет, то был применен метод поиска решения на основе структурной аналогии с контекстом [7], где в качестве контекста была использована наиболее содержательная СС для ситуации 1, а в качестве возможных аналогов — СС для ситуаций 2 и 3. В результате была диагностирована причина возникновения аномальной ситуации 4 — «Отключение САОЗ 4 из-за закрытия задвижек TH14S24 и TH14S25» — и даны рекомендации ЛПР по ее нормализации «Подпитать TH14B01 борным концентратом 40 г/кг».

Заключение

Для реализации современных ИС РВ, типа ИСППР РВ, необходимо применение интегрированных и гибридных моделей представления и оперирования знаниями с возможностью настройки системы на конкретное приложение с учетом специфики управляемого объекта и внешней среды и качества имеющейся информации (т. е. учет имеющихся НЕ-факторов). Необходимо найти разумный компромисс между выразительными свойствами используемых моделей и методов (их интеграции) и временными (темпоральными) ограничениями, определяемыми спецификой протекающих на объекте процессов. В настоящее время в состав базы моделей подключаются темпоральные модели (поддерживаемые темпоральной БД), разрабатываемые в МЭИ [2;3;8], и графодинамические модели, ориентированные на представление и оперирование динамической информацией, разрабатываемые в научной школе БГУИР под руководством проф. В. В. Голенкова [9—12].

Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-51-00007 и БРФФИ (проект № Ф16Р-102).

Список литературы

1. *Поспелов Д.А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. М. : Энергоиздат, 1981.

2. *Вагин В.Н., Еремеев А.П., Кутепов В.П. и др.* К 40-летию кафедры прикладной математики: исследования и разработки в области обучения, программирования, информационных технологий и искусственного интеллекта // Вестник МЭИ. 2017. №4. С. 117—128.

3. *Башлыков А.А., Еремеев А.П.* Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике : учебник. М. : ИНФРА-М, 2017.

4. *Вагин В.Н., Еремеев А.П., Гулякина Н.А.* О формализации темпоральных рассуждений в интеллектуальных системах // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems) : материалы VI международной научно-технической конференции (Минск, 18—20 февраля 2016 года). Минск : БГУИР, 2016. С. 275—282.

5. *Ивашенко В.П., Бельчиков А.С., Еремеев А.П.* Модели обработки информации в интеллектуальных системах, основанных на семантических технологиях // Информационные технологии и системы (ИСТ16) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск 26 октября 2017. Минск : БГУИР, 2016. С. 106—107.

6. *Еремеев А.П.* Развитие аппарата таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 121—132

7. *Eremeev A., Varshavskiy P., Alekhin R.* Case-Based Reasoning Module for Intelligent Decision Support Systems // Proceedings of the First International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (IITI'16). Vol. 1, Pt. 3. Publisher Springer International Publishing. P. 207—216.

8. *Eremeev A.P., Kozhukhov A.A.* Methods and Program Tools Based on Prediction and Reinforcement Learning for the Intelligent Decision Support Systems of Real-Time // Proceedings of the Second International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (IITI'17). Springer. Vol. 1. P. 74—83.

9. *Nurgazinova G., Golenkov V., Sharipbay A. et al.* On Creation of the Intelligent Help System. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 10th April 2016. Vol. 86, No.1. P. 26—33.

10. *Golenkov V.* Ontology-based Design of Intelligent Systems // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Minsk : BSUIR, 2017. P. 37—56.

11. *Голенков В.В., Гулякина Н.А.* Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Ч. 1 : Принципы создания // Онтология проектирования. 2014. №1. С. 42—64.

12. *Голенков В.В., Гулякина Н.А.* Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Ч. 2 : Унифицированные модели проектирования // Там же. №4. С. 34—54.

А.В. Колесников
БФУ им. И. Канта, Калининградский филиал ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия
e-mail: avkolesnikov@yandex.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Отображение гибридного интеллекта [1] со взаимодействующими, сотрудничающими и взаимодополняющими друг друга в интересах решения задач разновидностями интеллекта [2] в компьютерных моделях воплотилось в функциональных гибридных интеллектуальных системах (ГиИС, ФГиИС) [3—6] для разрешения проблемных ситуаций несколькими методами имитации интеллектуальной деятельности человека.

Конструирование ФГиИС в информатике называют гибридизацией [3] — трудо- и наукоемкий процесс следования научной картине мира и методологии извлечения и манипулирования разнообразием знаний о человеческой деятельности, задачах, методах их решения, длительной по времени, сложной обработки информации и экспериментов.

Гибридизация «имеет дело» с тремя основными информационными ментальными объектами: моделью проблемной ситуации (объектом-оригиналом), моделями нескольких методов решения задач (объектами-прототипами), моделью ФГиИС (объектом-результатом). Первые два — источники информации для гибридизации, а последний — основа направленного формообразования, изначально программирующая то, что должно появиться в конце, в результате трансформации разнообразия информации.

Проблемно-структурная (ПС) методология [3; 4] — учение о структуре, логической организации, принципах, методах и средствах деятельности разработчика в условиях разнообразия информации, выполняющего гибридизацию, объект-оригинал которой — проблемная ситуация (сложная задача, проблема), объекты-прототипы — методы из базисных классов, а объект-результат — функциональные ГиИС.

Объекты-оригиналы отображают разнородную информацию, обеспокоенность лица, принимающего решения, по поводу имеющегося у него во внутреннем мире устойчивого противоречия, разрыва в деятельности, недостаточности выявленных условий, неопределенности цели и отличаются значительной сложностью состава, структуры и не могут быть «вовлечены» в решение в полном объеме. Поэтому применяется закономерное преобразование представления проблемы в ходе ее решения, когда проблема преодолевается посредством преобразования (переструктурирования) ее репрезентации: ре-

© Колесников А.В., 2018

шенная проблема представлена как система задач — фундамент архитектуры и основа качества ФГиИС, наследующих функциональную неоднородность объектов-оригиналов.

Объекты-прототипы «хранят идеи» своих авторов, знания и опыт решения актуальных задач, чаще всего в игровом мире со своими, принятыми и ограниченными в рамках научной школы и дисциплины правилами. Инструментальная неоднородность проблемных ситуаций преодолевается комбинированием и агрегированием во ФГиИС положительных признаков над разнообразием информации (язык описания модели, модель, процедура получения результата на модели) о шести классах базисных методов: аналитических, статистических, искусственных нейронных сетей, экспертных систем, нечетких систем и генетических алгоритмов. Разнообразие инструментов применительно к системе обслуживающих проблему задач образует гетерогенное модельное поле (ГМП).

Объекты-результаты «хранят идеи и принципы» Калининградской школы о разработке информационно-советующих ФГиИС, способных поддерживать индивидуальные решения и в своей архитектуре и алгоритмах имитации интеллектуальной деятельности человека отображающих разнообразие типов (стилей) мышления человека и методов решения (инсайт, самоорганизация, конструирование), а также способность из имеющегося опыта, устойчивых ментальных представлений динамически ситуативно создавать интегрированные методы и модели и преодолевать разнообразие в проблемных ситуациях.

В 1983—1986 гг. Я. А. Гельдфандбейн, А. В. Колесников и И. Д. Рудинский разработали многомодельную семиотическую систему, Д. А. Поспелов и А. Н. Борисов ввели понятие гибридных экспертных систем, а Г. В. Рыбина развила концепцию интегрированных экспертных систем. Гибридные интеллектуальные системы анонсированы в 1994—1995 гг. L. Medsker и, по существу, совпадают с интеллектуальными гибридными системами S. Gootinalake и S. Khebbal (1997), гибридными интегрированными системами (2001), гибридными интеллектуальными адаптивными системами N. Kasabov, R. Kozma (1998). В 1998 г. Г. С. Осипов рассмотрел гибридную систему с дискретной частью, основанной на знаниях. В 1997 г. В. Н. Вагин и А. П. Еремеев предложили для поддержки принятия решений семиотическую систему распределенного интеллекта. В 1998—2017 гг. А. В. Колесников, П. М. Клачек, Р. А. Седов, Н. А. Чемерис, С. В. Листопад, С. А. Солдатов, С. Б. Румовская, а также студенты, магистранты и аспиранты Калининградского государственного технического университета и Балтийского федерального университета им. И. Канта исследовали гибридный интеллект на примере ФГиИС. Введено понятие «гетерогенная задача», «сложная задача коммивояжера», «сложная задача с координацией». Разработаны неформальная аксиоматическая теория схем ролевых концептуальных моделей для триадической модели «ресурс — свойство — действие», модели гетерогенной задачи, метода моделирования, крупно- и мелкозернистой ФГиИС. Создана ПС-методология. Ме-

тодами ФГиИС решена конструкторская задача выбора измерительных приборов и первичных преобразователей для систем судовой автоматики машинных отделений морских судов с элементами визуализации, изучена проблема планирования урожаев и агротехнологических мероприятий в биопроизводственной системе. Исследованы стратегии управления разгрузкой судов в морском порту методами ГиИС и технологией моделирования визуальных событий — Visual Event, с анимацией транспортных и разгрузочных работ в акватории и на территории порта. Агрегированы преимущества ГиИС и интеллектуальных агентов в новом классе синергетического искусственного интеллекта — «Гибридных интеллектуальных многоагентных системах». Апробированы ФГиИС с координацией и визуализацией коллективных решений на планерках и диагностики артериальной гипертензии, создана информационно-советующая система — «Виртуальный консилиум».

Многолетний опыт Калининградской школы по исследованию гибридного искусственного интеллекта подтверждает не только преимущества ФГиИС, но контрастирует и их недостатки [7]. С общенаучной точки зрения эти исследования ближе эпистемологии, изучению отношения «объект-знание», чем гносеологии, теории познания как социально-организованной формы духовно-творческой деятельности человека. Отсюда следует и существенный недостаток ФГиИС — отображение сотрудничества посредством имитации логико-математического интеллекта, языковой коммуникации, левосторонней составляющей рассуждений экспертов и лица, принимающего решения в условиях неоднородности и неопределенности информации.

В связи с этим многие ученые призывают сместить акцент на когнитивный, познавательный процесс, обработку сознанием поступающей информации, ее мысленному преобразованию в знания, хранению и использованию накопленного опыта в повседневной и профессиональной жизни. В этой связи ценно мнение, высказанное в 1989—1991 гг. авторами когнитивной компьютерной графики — Д. А. Поспеловым и А. А. Зенкиным, и мнение основателя инженерии образов — И. Б. Фоминых, заложивших основную терминологию, задачи российской науки в рамках образного мышления.

Д. А. Поспелов сформулировал задачи когнитивной компьютерной графики в системах поддержки принятия решений, базирующихся на средствах образного представления: 1) создание моделей представления знаний с единообразием отображения объектов, характерных для логико-математического мышления, так и образы-картины, с которыми оперирует визуально-пространственный интеллект; 2) визуализация тех человеческих знаний, для которых пока невозможно подобрать текстовые описания; 3) поиск путей перехода от наблюдаемых образов-картин к формулировке гипотезы о тех механизмах и процессах, которые скрыты за динамикой наблюдаемых картин.

Смещая акценты исследований инфокоммуникационных наук с эпистемологии, т. е. «инженерии знаний» в познавательную область, И. Б. Фоминых в 2009—2012 гг. предложил формализм ГиИС темпоральных логических моде-

лей и нечеткой логики и ввел термин «инженерия образов», неоднократно подчеркивая, что расширение возможностей компьютера связано с отображением в нем образных, интуитивных, рефлексивных и эмоциональных механизмов мышления и поведения; решение задач представления правополушарных механизмов левополушарными средствами, исследования и моделирования процессов взаимодействия образного и символьно-логического мышления, формирования способов компьютерной поддержки образного мышления представляет значительный интерес.

Отсюда следует, что традиционный взгляд на ФГиИС как на имитатор-комбинатор над разнообразием интеллектуальной деятельности человека в проблемных ситуациях следует считать излишне оптимистичным. Развитый нами «лингвистический подход» [3—6] — свидетельство господства вербального языка и аналитического мышления в форме западной традиции «или белое или черное» [8], несмотря на известное разнообразие языков: музыки, танца, геометрии, изобразительного искусства и многообразия моделей продуктивного мышления: китайской — «белое станет черным, а черное — белым» и индийской «белое и есть черное» [8]. Идеей нашей эпохи Б. Эдвардс считает извлечение пользы из визуального языка образного восприятия, параллельного процессам вербально-аналитического мышления [9].

Функциональные ГиИС — «дитя» современной цивилизации. Они унаследовали ее «недостаток символизма» — феномен, подмеченный М. К. Мамардашвили и А. М. Пятигорским [10]. Гибридизация в информатике не символизирована, очевидно смещение акцентов на вербально-знаковые семиотические системы, что увеличивает количество знаков в мире принятия решений и переводит символы сознания в знаки культуры.

«Восхождение» к символу гибридных интеллектуальных систем возвратит субъект деятельности в пространство смыслов, пространство вещей, свойств и отношений. Взаимодействие с символом выводит субъекта и результаты его деятельности на взаимодействие с ценностями и смыслами нравственного и этического характера внутреннего мира. Символизация объектов-оригиналов, объектов-прототипов и объектов-результатов ПС-методологии ФГиИС через усвоение, освоение и присвоение символа разовьет у субъекта социально-ценностное отношение к миру и откроет путь к качественному искусственному интеллекту. И. Павлов утверждал, что слово сделало нас людьми. Но многочисленные раздражения (коры головного мозга) словом удалили нас от действительности, и мы должны это помнить, чтобы не исказить наше отношение к действительности [11].

Доклад концентрирует внимание на результатах, полученных на пути «восхождения» ФГиИС к символу, символизации и схематизации гибридизации посредством языка рисунков-схем, способного регистрировать видимое, будь то образы из реального мира или образы, созданные воображением, аналогично записями мыслей и идей в форме слов. Дж. Брунер подчеркивал, что ключевое понятие когнитивной психологии — «схема», означающее план

сборки, программу переработки информации. Все психические процессы имеют свои схемы функционирования. Так же как жизнедеятельность организма определяется генотипом, восприятие, память, мышление, эмоции определяются схемами.

Формы на рисунках-схемах, как и слова, имеют смысл — часто невыразимый словами, но бесценный для того, чтобы «взвесить» в смысле Э. де Боно и сделать постижимым в смысле Б.Эдвардс, хаос избирательного, субъективного и подверженного ошибкам внутреннего мира: целей, задач, проблем, решений, планов, оценок, возможностей, утверждений, гипотез, фактов, эмоций, убеждений и ценностей, умозаключений, красоты, мечтаний и фантазий, без чего эксперт реагирует на ситуацию, следуя мимолетным ощущениям, эмоциям и потребностям, а практика искусственного интеллекта по-прежнему всё еще далека от, казалось бы, простых и ясных теоретических игр.

1. Функциональные гибридные интеллектуальные системы — схема переработки информации о проблемных ситуациях в разрешающие рекомендации

Несмотря на сохраняющееся доминирование в информатике традиции специфицировать информацию на модели К. Шеннона «источник-приемник», невозможно пройти мимо факта, что кибернетик У. Р. Эшби [12] интерпретировал информацию как передаваемое разнообразие, а Э. С. Бир подчеркивал, что кибернетика научила работать с разнообразием: создавать, оценивать количество, фильтровать и управлять им. Мимо того факта, что А. Д. Урсул связывает информацию с отраженным разнообразием, а Я. К. Ребане [13] утверждал, что источник информации — любая форма. Мимо того факта, что В. М. Глушков раскрыл семантику информации через меру неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и времени. Мимо того факта, что атрибутисты оценивают информацию как меру упорядоченности структур и взаимодействий, а функционалисты связывают информацию только с деятельностью человеческого сознания.

Гетерогенность физического мира проявляется в разнообразии (совокупности неоднородностей), зачастую не выражаемым количественно, а неоднородности в пространстве имеют геометрические размеры (форму) и измеряются. Неоднородность — это количественная и качественная различимость состояния субстанции средствами потенциального наблюдателя, в том числе и средствами разума [14].

В этой связи В. П. Попов и И. В. Крайнюченко [15] специфицируют информацию как любые неоднородности материи, отсюда абсолютно однородная, гипотетическая среда не содержит информации.

Главная причина неоднородности проблемных ситуаций — существование диалектического противоречия между тем, что Вселенная обладает целостностью, а совокупность знаний о ней такой целостностью не обладает ни в масштабах человека, ни в масштабах общества. Детализируя тезис о гло-

бальном противоречии целостности мироздания и отсутствии целостности знаний о нем, выделено [3] несколько источников-причин неоднородности объектов-оригиналов ПС-методологии: многообразие парадигм в науке, многообразие дисциплин в обучении, многообразие методов и переменных в науке, многообразие мнений и моделей внешнего мира на практике, многообразие фаз управления, многообразие целей решения задач, многообразие отношений на знаниях.

Метафорически информация — это «рябь» на пространстве [14]. В нашем внутреннем мире, сознании система неоднородностей воспринимается как образ, форма. Создавая архаичные города (в древнерусском языке слово *градъ* означало: ограда, ограждение, линия укреплений, крепостная стена, укрепленное поселение, крепость, населенный пункт, город, население, жители города, сад, огород [15]. Наши предки, по сути, выделяли и ограждали пространство, предназначая его для проживания и защиты человеческого коллектива. Отсюда город, равно как и град, — организованное пространство, неоднородность, противостоящие внешнему хаосу, военно-политическое, административное и культурное (религиозное) сосредоточие, форма. «Без города невозможна власть (волость), а без власти (волости) невозможна Русская земля» [16, с. 335].

Полная, исчерпывающая картина мира современному человеку не доступна, знания — приближенный образ реальности (ФГиИС) не несет в себе всей информации об объекте. Моделирование ФГиИС — способ познания внутреннего и внешнего (окружающего, реального) мира визуального управления. Чем сложнее объект-оригинал, тем больше моделей в ГМП ФГиИС.

Еще один способ познания внешнего и внутреннего мира, используемый в ПС-методологии, — системогенез, способность строить системы-агрегаты ФГиИС, расчленять проблему на задачи-части, выделять их отношения, чтобы увидеть, понять и преодолеть неопределенность и разнообразие возникшего препятствия.

Таким образом, моделирование и системогенез в ПС-методологии ФГиИС — способы видения мира, когда объект описывается множествами моделей и систем, ограничивающих разнообразие и фильтрующих информацию для принятия решений.

Основываясь на вышесказанном, а также многолетнем опыте исследования свойства «неоднородности» систем управления, уместно гносеологическое определение функциональных гибридных интеллектуальных систем как схем моделирования и системогенеза переработки информации человеком с целью познания окружающего мира.

Функциональные гибридные интеллектуальные системы — это схема, способ видения мира, неоднородность информации, касающаяся организации пространства. Метафорически — это «рябь» на пространстве Попперовских миров, наблюдаемая в рефлексивной позиции [17; 18]. Эта система неоднородностей воспринимается как образ, форма. Создатели ФГиИС, по сути,

«выделяют» и «огораживают» часть пространства, некий «виртуальный мир», назначаемый целям переработки информации в интересах преодоления управленческих проблемных ситуаций. ФГиИС — организованное пространство, неоднородность, противостоящие внешнему хаосу, это сосредоточение, образ, форма функциональной неоднородности о проблемной ситуации, инструментальной наследственности объектов-прототипов, отраженная в архитектурных и методологических идеях Калининградской школы искусственного интеллекта.

2. От продуктивного мышления М. Вейтгеймера к визуальному управлению Тайити Оно

Экспериментально М. Вертгеймер [19] показал неудовлетворительность попыток описания мышления в терминах традиционной формальной логики: при корректности ее операций смысл процесса и все, что было в нем живого, убедительного, творческого, исчезают. Можно иметь цепь корректных логических операций, но вместе взятых не отражающих разумный ход мыслей.

Традиционная логика способствует строгости и обоснованности каждого шага, развитию критичности ума, но сама по себе не приводит к продуктивному мышлению: можно быть точным и одновременно пустым и бессмысленным. Логика и теории ассоциации, занимающиеся проблемами правильности и валидности, не связаны с актуальным мышлением, реальным и существующим во времени.

Продуктивное мышление: 1) усмотрение, осознание структурных особенностей и требований; 2) действия, изменяющие проблемную ситуацию с целью улучшения ее структуры: визуально изучить пробелы, неясные места, нарушения, внешние признаки и т. д., их место, функцию, роль в структуре проблемной ситуации; визуально исследовать внутренние структурные отношения согласованности или несогласованности нарушений в ситуации ее частей; осуществлять операции структурной группировки и изоляции, центрирования и т. д., рассматривать и трактовать их место, роль, значение в динамической структуре с фиксацией соответствующих изменений; 3) понимание структурной транспонируемости и иерархии, отделение внешних признаков от структурных характеристик (вариант группировки); 4) поиск не отдельных истинных положений, а структурной истины, структурного ядра, истоков проблемной ситуации; смена неопределенного, неадекватного отношения на ясное, прозрачное видение основного противоречия в ситуации; переход в состояние, когда проблема захватывает целиком.

Задача 1. Определение площади параллелограмма в условиях, когда испытуемым известно, как найти площадь прямоугольника.

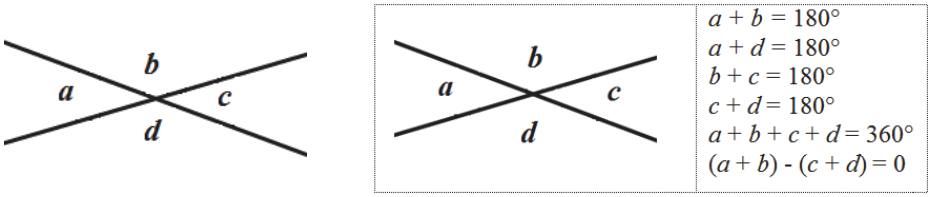
Обратим внимание на один из типов реакции, когда мышление девочки пяти с половиной лет вело ее прямо к цели. Цитируем ее рассуждения: «Я, конечно, не знаю, как это сделать». Потом, после минуты молчания, добавила: «Нехорошо здесь, — и показала на область (рис. 1), расположенную справа, — и здесь тоже, — и показала на область, расположенную слева. —

Трудность связана с этим местом и с этим». Нерешительно сказала: «Здесь я могут исправить ... но ... ». Вдруг она воскликнула: «Можете дать мне ножницы? То, что мешает там, как раз требуется здесь. Подходит». Она взяла ножницы, разрезала фигуру вертикально и перенесла левую часть направо.

Рис. 1. Последовательность визуальных высказываний в рассуждениях девочки пяти с половиной лет, решившей задачу о площади параллелограмма

Последовательность решения и операций ребенка обусловлена видением целостной фигуры и всей ситуации в целом, это единый процесс мышления и осознания пробелов в ситуации, желания исправить то, что плохо, достигнуть внутренней гармонии. Когда неизвестно, как определить площадь параллелограмма, возникает желание восполнить этот пробел, понять, как величина площади зависит от структуры фигуры. Ясность есть по средней части параллелограмма — по аналогии с прямоугольником. Края же — области нарушения. Их нужно «привести в порядок». Операция следует за осознанием устранить «брешь» в понимании внутренней связи формы фигуры и площади. Теперь один из краев мешает, лишний. Его нужно отрезать и как часть добавить к другому краю, тем самым превратив фигуру в прямоугольник.

Задача 2. О двух углах между пересекающимися линиями. Две прямые линии пересекаются и образуют углы *a* , *b*, *c*, *d* (рис. 2, *а*). Доказать равенство углов *a* и *c*



а *б*

Рис. 2. Задача о двух углах между пересекающимися прямыми:
а — постановка; *б* — решение взрослым испытуемым

Приведем результаты в изложении М. Вертгеймера с несущественными правками и купюрами. Эксперименты на доказательство равенства двух углов, $a = c$ — трудная задача. Большинство испытуемых не достигло успеха из-за того, что необходимые структурные операции нелегко представить.

Первый испытуемый (взрослый) действовал традиционно, «логично». Он сказал: «Посмотрим, какими общими положениями я располагаю». Спустя некоторое время стал выписывать истинные равенства (рис. 2, *б*). Затем переставлял и комбинировал равенства парами, складывал их, вычитал, следя за тем, не выйдет ли из этого чего-нибудь. Он пришел к равенству $b = d$, но не остановился и действовал, пока не получил $a = c$.

Второй испытуемый. Он понял, что следует рассматривать *а* и *с* как части 180°. Но не понимал, что нужно рассматривать эти условия в связи с остатком. Его рассуждения: «Я должен использовать *а* как часть 180°; я должен использовать *с* как часть 180°». Он нарисовал рис. 3, *а*.

а *б*

Рис. 3. Визуальное решение задачи о двух углах между пересекающимися линиями вторым испытуемым

Затем он начал колебаться, говоря: «Существует еще одна возможность образования пар». Просияв, он изменил рисунок на рис. 3, *б*.

Осмысленный процесс здесь включает операции группировки, осознания структуры, равенства, симметрии, «совпадения ролей», функций в группе, осознания отношений, реализующих внутренние связи искомой группировки с данной структурой.

Задача 3. Определение площади алтарного окна. Выше алтаря есть круглое окно (левая форма на рис. 4). Фигуры выше и ниже надо позолотить. Какова суммарная площадь этих фигур?

Рис. 4. Пошаговая трансформация геометрических форм, решающая задачу о площади алтарного окна

Первый испытуемый: «Конечно, я должен решить ее. Посмотрим ... какие теоремы об определении площадей необходимы в данном случае? Несомненно, я должен вспомнить их ... Если бы только это был настоящий эллипс ... но это не эллипс ... Если я разделю его, то площади этих частей будет легко определить. Внизу и вверху у нас полукруги, а площадь полукругов я могу легко вычислить. Но есть еще эти четыре забавных кусочка ... Какие теоремы я знаю о таких «квазитреугольниках», у которых вместо прямой стороны такой круговой сегмент? ... Не помню ни одной ... ». После глубокого раздумья он сдался.

Второй испытуемый начал с вычисления площади круга и вдруг воскликнул: «Как слеп я был! Как это просто! Площадь равна площади круга плюс ... что? Квадрат ... круг; это просто площадь квадрата! Отличная задача!»

Третий испытуемый, десятилетний ребенок без знаний по геометрии, сказал: «Почему вы думаете, что я могу сделать это? Я не могу. Не имею ни малейшего представления, как делаются подобные вещи». Он внимательно посмотрел на рисунок, а затем спокойно сказал: «Два полукруга должны войти в «окно ... Это полный квадрат (провел по рисунку пальцем)». На все ушло около минуты.

На рисунке 4 показано визуальное решение А. В. Колесникова задачи о площади алтарного окна в стиле третьего испытуемого.

Слепое рисование С. М. Эйзенштейна [20]. В 1931 г. С. М. Эйзенштейн провел опыт для прояснения природы собственного графического творчества: создал длинную серию рисунков на сюжет «Убийство Дункана», почерпнутый из «Макбет» У. Шекспира.

Задача. Исследовать композиционный потенциал созданием максимума рисунков на одну тему. Статистика работы: 8 июня — 16 рисунков; 9 июня — 20; 12 июня — 52 (рисование «почти в трансе», изнеможение); 15 июня — 19; 16 июня — 20. Рисунки делались «в один присест», т. е. без перерыва и впечатлений извне. Запись в дневнике: «Удивительно: я рисую довольно бойко. В рисунке добиваюсь рефлекторной мгновенности перевода мысли-замысла непосредственно в рисунок. Сводя этап переложения до минимума, стараюсь думать штрихом. Поэтому изгнаны из обихода резинка и предварительная прорисовка для будущей обводки». Рисунок отражает природное «Я» С. М. Эйзенштейна, его сущность.

Слепое рисование (рис. 5) — скорость и изнурение, трансцендирование собственной слепоты и порождение творения — гармоничного, красивого и обобщающего. Композиция преобразует слепое и беспамятное движение во внутренний образ предмета.

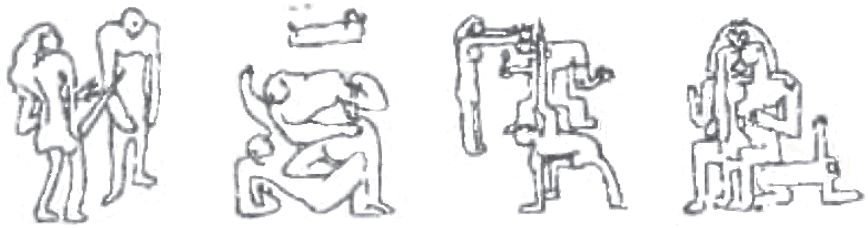


Рис. 5. Техника слепого рисования С. М. Эйзенштейна;
фигуры тесно сплетаются друг с другом; движение идет из центра к периферии,
«отражается» от краев, вновь искривляется к центру
и часто завершается изображением смертельного удара кинжала

Организационно-деятельностные игры (ОДИ) [21; 22]. ОДИ создана Г. П. Щедровицким для «интенсивной формы решения междисциплинарных комплексных проблем», поиска способа взаимодействия специалистов разных профилей для решения проблем. Суть ОДИ не передается текстом и видеозаписью. Поэтому участник создает для себя необходимые знания в про-

цессе игры и переживает мучительные поиски, напряжение, открытия, попадает в кризисы и выкарабкивается из них, натыкается на непонимание и невозможность донести свою мысль и открывает новые выразительные средства и новые для себя способы общения. После игры участники обогащены новыми открытиями и возможностями. Они пытаются решить поставленные перед ними задачи привычно, эмоционально, стихийно и беспорядочно «бросаясь» на проблему. Но сами правила систематизируют мышление, проясняют ошибки, контрастируют нестандартные решения.

Игра — трудно фиксируемое в сознании «мирообразующее» понятие. Подвижность границы «жизнь — игра» условна, играющие могут смещать ее, превращая «жизнь» в игру, а игру — в жизнь. Игра знаково-символична: разнообразие обозначается и символизируется, как поступают и люди, надевая маски, разыгрывая роли, занимая позиции. Игра имеет внутренний порядок, строгие правила, ограничена местом и временем, это азарт, риск, напряжение, свобода и удовольствие.

Латеральное (взвешенное) мышление отца мышления о мышлении Э.де Боно [23]. Но сначала — «Притча о старом Шляпнике», цитируемая с незначительной правкой по [24].

Жил-был старый мудрый Шляпник. Из всех земных богатств был у него лишь цветной фетр. Но зато он имел золотые руки и прекрасную мудрую душу. Мастер дарил людям нечто большее, чем головные уборы — шляпы, кепки, панамы и чепчики. Просветленными и одухотворенными, решительными и твердыми духом выходили из мастерской старого Шляпника люди, унося свой заказ. Стоит ли говорить о том, как славился своим умением Мастер, как благодарны были ему люди за чудесные шляпы, в которых таился Великий секрет Великого Мастера.

Но шли годы, и настало то время, когда ушел в иной мир старик Шляпник, оставив шестерым своим сыновьям мастерскую, обрезки цветного фетра и шляпы, шесть разноцветных шляп: белую, черную, красную, зеленую, желтую и синюю. «Видимо, это и есть тот необыкновенный заказ, над которым в последнее время так самозабвенно трудился отец», — решили сыновья Шляпника. «Значит, скоро должен появиться и заказчик, который щедро расплатится с нами за отцовскую работу. Мы разделим вырученные деньги и сможем отправиться с ними по свету», — планировали они. Но сколько ни ждали сыновья прихода таинственного заказчика, так и не дождались. Делать нечего, надобно делить отцовское наследство.

«Я возьму шляпу белого цвета, — заявил первый сын. — Она так изящна, восхитительна и прекрасна, я буду в ней красоваться на балах и приемах. Она будет говорить о моем «непростом» происхождении. Велика ли честь — быть сыном простого шляпника!»

«А я выбираю черную шляпу, — сказал второй сын. — Она имеет богатый вид, уместна к любому костюму и событию, в ней я буду строг, представителен и изыскан одновременно».

«Что ж, я выбираю себе желтую шляпу, — промолвил третий. — Желтый — цвет солнца, радости и богатства, а это мне так необходимо! Быть может, владея желтой шляпой, я смогу стать счастливым, кто знает?»

«Пусть моей шляпой станет красная, — воскликнул четвертый. — Как я мечтал выделяться из толпы, быть в центре внимания, чтобы мною любовались и восхищались женщины. В этой шляпе я буду неотразим!»

«Зеленая шляпа напоминает мне весенний луг и летнее поле, широкое и бескрайнее, дарующее возможность полета. Тысячу раз я летал во сне над зеленой прекрасной Землей, быть может, зеленая шляпа поможет осуществиться моей мечте», — произнес пятый сын.

«А мне достается синяя шляпа, и я очень рад этому. Синий — цвет глаз нашего отца, бескрайних морских и небесных просторов. Постичь их глубину и высоту — мое призвание. Хватит ли на все задуманное сил, решительности и времени?» — размышлял шестой из сыновей Шляпника.

Разобрали сыновья шляпы и отправились в разные стороны. Как же сложились их судьбы, достигли ли они того, о чем мечтали, свершилось ли то, что задумали?

Владелец белой шляпы стал важным чиновником, снискав уважение людей беспристрастностью. Факты, цифры и хроника событий были для него важнее всего на свете. Но каким-то холодом веяло от этого человека, казалось, что эмоции и чувства он утратил навсегда. Прекрасная машина, а не живой человек отныне ходил по земле.

Хозяин черной шляпы происходящее стал видеть в черном цвете. Всё подвергал сомнению и критике, на солнце искал пятна, в человеке — его тень, а в рассвете видел неминуемый закат. Часто эта черта спасала его от поражения и краха в делах и начинаниях, но именно она лишила его радости: от солнечного утра и пения птиц, от встреч с людьми и природой, и, самое главное, от собственных мыслей и поступков. Это отразилось на его характере: вечно угрюмым и недовольным стал хозяин черной шляпы.

Обладатель красной шляпы отныне жил во власти эмоций. Радость и грусть, тоска и удивление, страх и гнев, удовольствие и разочарование владели его душой. Как человек чувствующий, он страдал и радовался, любил и ненавидел, восхищался и сострадал. Но часто не мог распознать свои эмоции и чувства, разобраться в их причинах и источниках, не знал, как их проявлять и тем более не мог ими управлять. Окружающий мир оставался для него загадкой, часто он не мог понять и себя самого. Загадочный и необъяснимый, он привлекал женщин и друзей, но они через некоторое время разочаровывались в нем, не находя постоянства и преданности.

Человек в желтой шляпе радовался солнцу, наступающему дню, открыто шел навстречу приключениям и открытиям. Ничто не пугало его, не останавливало, ведь впереди только свет, добро и теплота человеческих рук. Эта святая вера и наивность не раз подводили его, но ничто не могло повергнуть в уныние этого оптимиста. В обыкновенном камне он видел драгоценные кри-

сталлы, в росинке — солнечную радугу, а в обыденности — чудеса. «Мечтатель, романтик, “не от мира сего”», — говорили о нем одни. «Богатейшей души человек, — говорили другие. — Кто же он, богач или бедняк? — решать не нам».

Обладатель зеленой шляпы оказался в удивительном мире творчества. Все, что он видел, слышал, чувствовал, превращалось в поэзию и музыку, картины и скульптуры, романы, повести, рассказы, пьесы для театра и кинематографа. Его талантом восторгались люди, находя в его трудах ответы на свои вопросы. Но как часто он, живя в мире своих творений, оказывался беззащитным перед лицом суровой действительности, неприспособленным к жизни в реальном мире.

Владелец синей шляпы стал вечным странником и мыслителем, идущим одному ему ведомыми тропами, ориентируясь на одному ему понятные знаки и символы, не уклоняясь от цели, не торопясь и не замедляя свой ход. Замечая, примечая многое, он выбирал лишь то, что важно в данный момент для достижения поставленной цели. Именно эти качества позволили ему опуститься на морское дно и подняться в небесные выси. «Счастливый человек — достиг того, чего хотел», — скажут одни. «А сможет ли он поделиться своими открытиями, находками, мыслями и чувствами с другими, дабы заразить их жаждой открытий, свершений и побед?» — спросят другие. Но нет пока у меня ответа на этот вопрос.

Но настал тот день и час, когда сыновья Шляпника вновь встретились под крышей отцовской мастерской. Долгие зимние вечера проводили они за удивительными рассказами о своих странствиях, встречах, разлуках и жизненных уроках, поражались изменениям, которые произошли в каждом из них. И только теперь начали они понимать, какое сказочное богатство оставил в наследство им Великий Мастер. И захотелось каждому примерить на себя шляпу другого, чтобы стать беспристрастным и критически мыслящим, умеющим видеть позитивные стороны и не бояться чувствовать, научиться творить и неотступно следовать намеченной цели. Вот и притче конец.

Латеральное (взвешенное) мышление — метод Э. де Боно, созвучный притче о старом Шляпнике, для разрешения сложных проблем мобилизацией скрытых в человеке творческих возможностей, преодолением беспорядочного, стихийного течения мыслей. Пытаясь охватить мыслями разнообразие, человек старается «объять необъятное». Ежеминутно в сознании теснится круговерть сомнений и переживаний, логических построений и творческих замыслов, планов на будущее и воспоминаний о минувшем.

Взвешенное мышление упорядочивает «кладовую мыслей», помогает «разложить их по полочкам», все делать размеренно, своевременно и по очереди, отделяет логику от эмоций, желаемое от действительного, фантазии от «голых» фактов.

Метод «шести шляп мышления» — возможность сыграть чью-то роль, защититься от собственного «Я», «помыслить вслух». Символика шляпы — удобная форма для просьбы, в том числе и себя, развернуть мысленный поток

или действия в другую сторону: проявить уступчивость, не «идти на поводу», отнестись творчески, отказаться от бесплодных фантазий, высказать «накипевшее».

Метод «шести мыслеварительных шляп» регламентирует правила «игры в человека, думающего именно так», или «игры в предлагаемый образ мыслей», игры для обретения навыка картографирования отношения к проблемной ситуации. Надевая шляпу, человек придает мыслям форму, цвет каждой шляпы связан с ее назначением (рис. 6).

а *б*

Рис. 6. Разнообразие шляп:
а — рисунок американского художника натюрмортов, шляп и маленьких жизненных историй С. Левина (Пусть заедает суета и угрожает стресс, но дама в шляпке, господа, совсем не та, что без… [25]); *б* — разнообразие информации, символизируемое методом шести шляп

Умение управлять течением мыслей — основа картографического мышления, составления карты своего отношения к ситуации по аналогии с цветной печатью, где наложение цвета на основу формирует цельное изображение. Также и цвет шляпы создает карту, максимально приближенной в своей цветовой гамме к реальным условиям жизни. Именно так бесцветная, серая мысль путем сознательного воздействии на нее впитывает яркие, сочные, символически оформленные и содержательные цвета. Цветовое различие делает мыслешляпу особенной, неповторимой.

Универсальный предметный код (УПК), двухзвенность внутренней речи человека Н. И. Жинкина [26] *и философская антропология В. Подороги о возможности встречи «человека речи» и «человека письма»* [27].

УПК Н. И. Жинкина — несловесный предметно-образный код, наглядные образы, формирующиеся в сознании человека в процессе восприятия им окружающей действительности. Этими образами человек мыслит. «Интеллект, для которого предназначается сообщение, не понимает естественного языка (ЕЯ). У него есть собственный информационный язык. На этом языке он строит гипотезы, доказательства, делает выводы, выносит решения и т. д.»; интеллект «вырабатывает понятия, суждения, делает умозаключения и выводы с тем, чтобы отразить действительность и указать мотивы человеческой деятельности» [26].

Единицы УПК — нейрофизиологические единицы, кодирующие и хранящие в биоэлектрической форме все знания человека. Это образы, схемы,

картины, чувственные представления, эмоциональные состояния, которые кодируют элементы знаний человека, объединяя и дифференцируя их в памяти по различным основаниям. Объединяясь в более крупные комплексы, они создают комплексные картины, активизация отдельных элементов которых, выделение в структуре комплексной картины ситуации некого признака, представляет собой предикацию.

В современной лингвистике и когнитивной лингвистике есть термины, похожие на УПК: образный код, смешанный код, предметно-схемный код, внутренний субъективный код, предметно-изобразительный код, вторичный код, язык мозга, автономный код, индивидуальный код и др. Н.И. Жинкин использует термин «код» в смысле способа реализации языка. Чувственными образами (например, электростанция, электрогенератор, свет, электросеть, автономный, дневной, распределительная, и др.) кодируются соответствующие концепты в памяти. Единицы УПК обнаруживают себя косвенно. Если человек не знает смысл какого-либо понятия, он пытается помочь себе объяснить это жестами, движениями рук.

Свойства УПК: 1) непроизносимый, без материальных признаков слов ЕЯ; здесь нет последовательности знаков, а есть изображения, которые могут образовать или цепь, или какую-то группировку; 2) обозначаемое других языков в этом коде одновременно и знак; 3) предметный: когда говорят «теплоэлектростанция», то за буквами или звуками языка разумеется сама вещь — «теплоэлектростанция»; независимо от букв или звуков в виду имеется вещь как предмет, порождающий множество; 4) изобразительные компоненты этого кода схематичны; 5) предметы, сведенные к схеме, составляют единство, элементы которого непроизносимы, но по нему можно восстановить произносимые слова любого языка; 6) код — универсальный язык, его можно переводить на все другие языки; 7) язык внутренней речи свободен от избыточности всех ЕЯ; 8) без изобразительного языка внутренней речи невозможен никакой ЕЯ, но и без ЕЯ деятельность внутренней речи бессмысленна; 9) применение ЕЯ возможно только через фазу внутренней речи; решить мыслительную задачу — значит контролировать выход из ситуации, в определенном отношении; в языке это отображается в переосмыслении лексических значений, а зарождается мысль в предметно-изобразительном коде; речь затруднена поскольку представление так же, как и вещь, которую оно представляет, может стать предметом бесконечного числа высказываний; 10) механизм человеческого мышления реализуется двумя противостоящими динамическими звеньями — предметно-изобразительным кодом внутренней речи и речедвигательным кодом экспрессивной речи; в первом звене мысль рождается и задается, во втором она передается и снова задается для первого звена; эта двухзвенность мышления резко отличает его от искусственных устройств, применяющих формально-логические средства переработки информации.

Понимание в смысле Н.И. Жинкина — перевод с ЕЯ на внутренний язык, а обратный перевод — высказывание. На ЕЯ устанавливаются общепонятные

положения, вводятся символы, определяется их значение и такие правила составления высказываний. Таков язык математики. Так как этот язык порождается ЕЯ, он сохраняет двухзвенность последнего, а именно символический язык алгебры и изобразительный язык геометрии. Оба эти языка взаимно переводимы, но перевод на ЕЯ исключается: алгебраические формулы не поддаются описанию словами, а геометрические объекты, например многомерного пространства, — наглядно не представимы.

Гипотезу двухзвенности языка внутренней речи подтверждают не только экспериментальные факты, но и тривиальные наблюдения над формами общения людей, показывающие, что понимание, т. е. прием сообщений, следует рассматривать как перевод с одного языка на другой. При этом одним из этих языков должен быть язык изображений, так как именно из них составлена первая, чувственная ступень познания действительности.

О встрече «человека мысли» и «человека письма» через призму философской антропологии рассуждает В. Подорога [27] созвучно результатам Н. И. Жинкина. Роль «человека мысли» в сценарии встречи исполняет советский философ, профессор МГУ М. К. Мамардашвили, видевший в человеке «машину переживания» как схематизм объяснения смысла, философию как учение о вечных проблемах, о языке и сознании, а роль «человека письма» отдана М. Прусту, французскому писателю, модернисту, склонному к схематической условной форме письма, автору семитомной эпопеи «В поисках утраченного времени», к творчеству которого обращался М. К. Мамардашвили. Он был «вслух-мыслящим-мыслителем» со следующей спецификой.

1. Словесное использование физической терминологии, точной и эвристически богатой. «Человек мысли» говорил, что когда мы неточно мыслим, нами играет дьявол. «Точно мыслить» — удерживать точку начала мысли, помогать ей вернуться туда, откуда она началась. Точка — место, где пересекаются мыслительные операции.

2. Физичность, телесность стиля философствования.

3. Глаголы в речи играют роль активных инициаторов познавательной метафоры. Он часто употреблял термины «сращивать», «кристаллизовать», «разрывать», «сдвигать», «вдвигать», раздвигая ими занавес на межмыслимом пространстве мысли как речевого события. Тем самым он показывал, что делается за кулисами. Было видно, как две мысли соединяются глагольной формой, указывающей на вид их соединения, и тем самым в сознании слушателя индуцировался физический образ мысли, ее метафорическая арматура.

4. Мыслительная стратегия мыслечтения, чтения в слух состоит из микроопераций: остановки, удержания и повторения. Остановка: нарушение письма, выделение отдельной мысли, фразы, символа, жеста и т. п. из единого контекста. Удержание: удерживается то, что возникло благодаря остановке; это усилие воображения, волевое, телесное; подставить к мысли Другого «свое тело» и понять им эту мысль как свою. Это физика метафорических и символических замещений. Богатые и разнообразные метафоры М. К. Мамардашвили не дают писательскому высказыванию раствориться в последу-

ющих, — оно всегда колеблется в одной точке-высказывании. Повторение: М. К. Мамардашвили повторяет одну и ту же процедуру, чтобы ввести новые различия в уже сказанное. Он «кружит», «петляет», «идет по спирали» вокруг точки начала в пространстве высказываний. По этим формам, фигурам движется его речь, создается свобода речевого произведения.

5. Мыслительная стратегия — «понимать мысль других, но не понимать свою собственную», а то, что я понял, должен показать реконструкцией всего процесса понимания. Реконструкции и есть понимание.

Возможна ли встреча между «человеком речи» и «человеком письма»? В. Подорога утверждает, что «возможна лишь в узком горизонте, определяемом избранной позицией одного из встречающихся». Мысль становится мыслью, когда обретает выражение. Мысль выраженная — мысль как форма, а не нечто расплывчатое, плавающее в сознании.

Визуальный язык художественного конструирования У. Боумена [28]. Рисунок стоит тысячи слов, если рисунок хороший. Словами рассказывают, а рисунками показывают. В технической книге, картографии, учебных пособиях главное — вызвать мышление, опирающееся на образы, и рисунок — средство передачи «графической мысли» в виде «графического высказывания» на визуальном языке. В отличие от изобразительного искусства графические средства подачи информации служат практической коммуникации, а не цели вызывать эмоции у зрителя. В коммуникации важна концептуальная логика изображений, а не технические методы их построения. Графический образ рассматривается У. Боуменом как форма «визуального высказывания». Смысл текста раскрывается словами, а иллюстрация «говорит» на языке форм.

Визуальный язык имеет свои собственные ресурсы и возможности: 1) словарь элементарных форм, 2) грамматику пространственной организации, 3) идиомы объемной перспективы и 4) синтаксис фразировки образов.

Форму характеризуют основные элементы: точка, линия, плоскость, цвет и текстура, составляющие словарь форм. Чертежник чаще использует линию, а иллюстратор (график) не ограничивается линиями при создании образов.

Словарь элементов формы. Прежде всего разрабатывается словарь конструктивных элементов (базовых форм) — «кирпичиков» в производных, сложных формах, релевантных средствам, свойствам, явлениям, событиям и визуального управления.

Грамматика пространственной организации. Способы «удержания» формы на плоскости, избегая смысловых неясностей: 1) применение прямых линий; 2) соединение похожих форм вдоль общей границы без наложения; 3) присоединение не похожих форм «встык», без наложения или разрыва; 4) параллельность и реальные отношения размеров форм; 5) изображение форм разнородной физической структуры, используя одинаковые размеры, масштаб; 6) единообразная фокусировка зрения изображением краев фигур с одинаковой резкостью; 7) разноудаленность форм изображением краев фигур с разной резкостью; 8) объединение непохожих или неправильных элементов

формы в хорошо распознаваемую конструкцию. Для создания впечатления о размещении плоских фигур в различных плоскостях (многоплановые изображения) У. Боумен предложил восемь грамматических правил, а для достижения эффекта непрерывности пространства — шесть [28].

Идиомы объемной перспективы. Объемная перспектива строится из пяти элементов: плоскости рисунка; линии горизонта (глаза); точки схода (фокуса); точки наблюдения; сходящиеся края формы; и может иметь параллельную, угловую или наклонную организацию.

Синтаксис фразировки образов. Как и словесно-вербальная фраза, визуальная фраза, передаваемая рисунком, может значить не больше того, что заложено в передаваемых ею идеях. Форма ясной визуальной фразы должна быть функциональной и зависящей от базовых элементов и их организации. Нехватка элементов формы, их излишек или выбор неподходящей формы могут отрицательно повлиять на ее коммуникативные возможности. Важно учитывать и взаимодействие форм в рисунке аналогично словам в предложении. Контекст влияет на каждую из них. Сходство характера и положения форм создает визуальную связь элементов и передает идею родственности значений элементов. Различия и разобщенность форм порождают визуальную дифференциацию элементов. «Визуальное ударение» увеличивает смысловое значение элемента. Связь, дифференциация и ударение — главные средства визуального воздействия. С их помощью элементы образа действуют, создавая членораздельную, ясную визуальную фразу.

Графическое высказывание. Замысел: цель, визуальная идея, визуальный перевод, концептуальный набросок, художественное конструирование: фигурная модель, рисунок и исполнение (графическое высказывание) — главные этапы визуализации.

Визуальный перевод. Перед конструированием графической фигуры составляется «мысленный» рисунок, выражающий идею (рис. 7). Он неполный и умозрительный, передает основные черты и визуальную структуру. Это концепция формы с добавленными конкретными элементами для выражения идеи и оттенков содержания. Содержание отображается тем, что и как показано, но и тем, что не показано (негативные пространства по Б. Эдвардс).

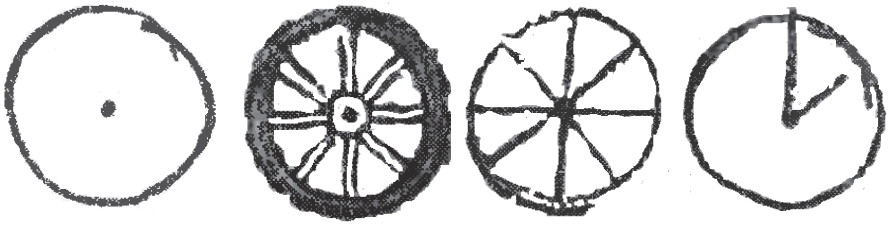


Рис. 7. Графические высказывания:
а — об идее формы; *б* — объективное изображение; *в* — символическое изображение; *г* — абстрактное изображение

Объективное изображение (например, фотография) показывает идею как видимую реальность. Визуальный перевод идеи в рисунок показывает внешний вид, структуру, размер и область. Символическое изображение воплощает идею видимыми свойствами объектов из реальной действительности, несущественное исключается. Символ может по форме напоминать форму объекта, быть условным, конвенциально отличаясь от объекта формой. Задачи визуального перевода идеи в рисунок — показать: движение, положение, расположение, систему. Идея абстрактного изображения берется из системы понятий безотносительно к аналогиям из реального мира и есть средство организации, без конкретного содержания. Визуальный перевод идеи в рисунок показывает: процесс, организацию, количество, тенденцию и редукцию.

Внешний вид (рис. 8) — отображение устройства реального объекта в зрительный образ, структура показывает объект изнутри, а организация — абстрактная структура. Они фокусируют внимание на разных особенностях объекта и образуют точку зрения при показе объекта.

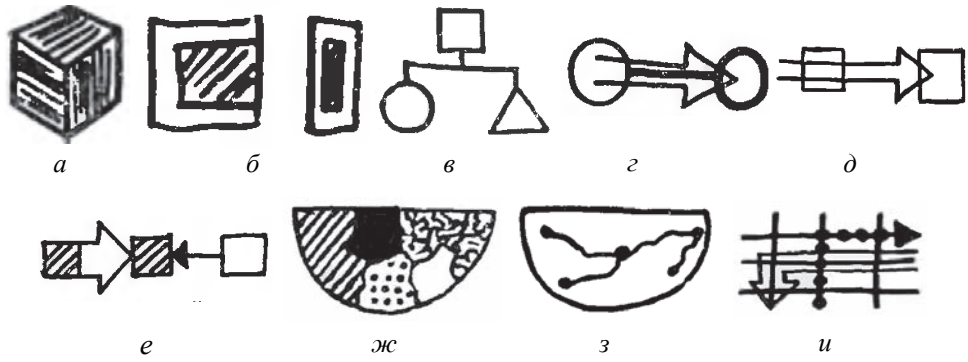


Рис. 8. Внешний вид:
а — физический; *б* — структура «двойной разрез»; *в* — организация символическая; *г* — движение по маршруту; *д* — система регулярная; *е* — процесс составной; *ж* — место охарактеризованное; *з* — расположение сети; *и* — положение маршрута

Структура показывает физическое строение объекта, невидимое в обычных условиях восприятия. Организация отображает логическую взаимосвязь элементов объекта, образующих единое целое. Она при визуализации передается абстрактно. Символическое изображение организации показывает элементы и объекты, зрительно воспринимаемые формы которых имеют ассоциативную или условную связь с их значениями.

Знания о конструировании графических высказываний, показывающих действия нечто — вопрос о физическом движении объекта, о системе потоков (энергетических, материальных, информационных, финансовых и др.) и соотнесении с их составными частями или о процессе как цепи событий. Движение, система и процесс указывают на особое отношение к характеру движения и отображают в рисунке действия объекта. Стреловидная форма — символ движения, отсюда рисунок «движение» символичен по смыслу.

Система обозначает схему работы всего объекта через действия его взаимозависимых элементов. Здесь важна логика действия. Процесс визуализирует действия объекта, следующие одно за другим в виде последовательности взаимосвязанных событий. Физические свойства объектов: их количество, размеры изображаются тенденциями увеличения или пропорциями его частей к целому. Пространственно объект отображается рисунком естественного места или области нахождения, его расположения в окружающей среде или положением относительно других элементов. Место — часть пространства, занимаемого объектом в его естественном окружении. Место и его окружение могут быть формализованы. Расположение показывает пространственное отношение между объектом и его окружением. Расположение движения (рис. 8, *г*) изображает перемещение объекта по маршрутно-стационарной сети в отношении к окружению. Положение — характеристика пространственного отношения одного из элементов объекта к другим элементам в пределах некоторой области. На рисунке положение показывается в схеме связанных элементов.

Художественное редактирование. Ошибки в формах из-за неправильного визуального восприятия: невыразительность из-за слабого словаря форм; неясность из-за пространственной несогласованности; плохая передача идеи из-за ошибок визуального перевода и нечеткого выделения элементов формы; нарушение лаконичности. Языковые ошибки возникают в наборе графических средств. Элементы фигуры должны объединяться в связный, взаимосогласованный и хорошо видимый образ. Типичные ошибки графических высказываний: структура фигуры двусмысленна, затруднено понимание, слабый словарь, нет перспективы, однообразие словаря, теснота расположения элементов, неудачные формы элементов и др. Смысловые ошибки — недостатки формы фигуры, она должна действовать однозначно, неправильно выбранная толщина контура; разрывы в потоке, выражаемом стрелками; использование объемности там, где не нужно; плохая различимость элементов. Экономичность рисунка — максимум выразительности при минимуме затрат. Ошибки: ненужная деталировка окружения; излишние подробности за пределами границ и загроможденность подробностями.

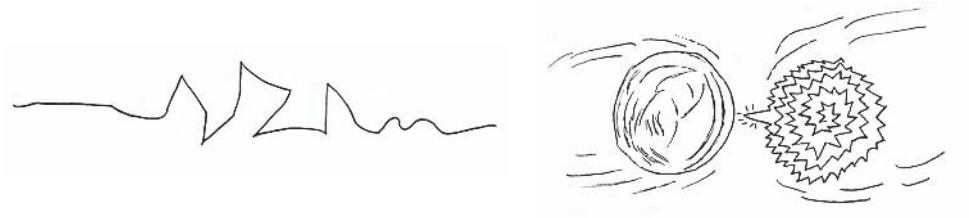
Визуальное мышление Р. Арнхейма [29]. Эффективное мышление в любой области познания идет в области изображений, а современный человек живет в условиях раскола смысла и мысли.

Психологи обнаружили у 40 % детей и у некоторых взрослых эйдетические образы — фотографическую память. Такие люди фиксируют в памяти географическую карту и читают на ней имена неизвестных или забытых им городов или рек.

«Мысленные образы» — неполная, красочная и точная копия видимой сцены. Они избирательны, мыслитель может сосредоточиться на чем-то и уклоняться от видимости того, чего нет. Добраться до этих изображений не-

просто. Умственные образы трудно описать и легко нарушить. Чертежи, рисунки, использовавшиеся в экспериментах с памятью, — неточные копии умственных образов, однако они способны «открыть» их свойства.

Задача 1. Представить концепт «Прошлое, настоящее и будущее» как единое целое или как комбинацию из нескольких изображений и обозначить его словами.



а *б*

Рис. 9. Рисунок концепта «прошлое, настоящее и будущее»:
а — одной непрерывной линией; *б* — рисунок концепта «брак (мужчины и женщины)»

На рисунке 9, *а* показано прямое и, возможно, пустое прошлое, большие и четкие формы настоящего, мелкие и неопределенные формы будущего. На рисунке 9, *б* изображен концепт «брак», выражаемый в языке одним словом, хотя относится к двум связанным лицам-партнерам. Плохие отношения в браке подчеркивают разницу партнеров. Контур агрессивной, пилообразной формы — образ одного партнера, а гладкие круги символизируют другого. Агрессивный партнер обозначен формой спирали, а другой представлен более гармоничными, концентрическими кривыми. Такие рисунки обычно изображают психические, а не физические силы.

Задача 2. Сделать немиметический рисунок (миметический, от греч. мимесис — «подражание», или, как их позже назовут на Руси, «живоподобные» изображения) концепта «молодежь». Такие рисунки показывают «мысль через видимое движение» и помогают в проблемных ситуациях.

На рисунке 10 испытуемый обозначил содержание концепта «молодежь» круглым или амебоподобным, постепенно превращающимся в твердый прямоугольник — «совершеннолетие». Рисунок символизирует три фазы роста молодежи: «молодежь тянется к старшим», «молодежь учится у старших, приспосабливаясь к ним» и «молодежь затмила старших». На рисунке 10, *б* три фазы детализированы до шести. Первая из них осталась в сравнении с рисунком 10, *а* без изменений, за исключением того, что «охват, тяга» явно выражены более динамичной формой. Начало его амебной реакции к «возрасту» половинчато: наполовину продвижение, наполовину сдерживание. Монолитность взросления символизируется также более тонко: оно открыто, доступно и активно. Во время сопряжения на стадии «молодежь затмила

старших» «возраст» уже снижается происходит окончательная инверсия «подчинения», выражаемая не только размером, но и формой до блока, тем самым завершая становление молодежи в «нового взрослого».

а *б*

Рис. 10. Немиметический рисунок концепта «молодежь»:
а — трансформация символа «окружность» в символ «прямоугольник»;
б — трансформация амебоподобной формы в форму прямоугольника

Самоочевидная геометрия. Уже пятый век греческая геометрия отказывается применять прямое визуальное восприятие задачи: доказательство «строится» шаг за шагом из нескольких аксиом логически связанными утверждениями. Напротив, геометрия Древней Индии использует одну теорему о равенстве квадрата гипотенузы сумме квадратов катетов. Индийский математик показывает результат-число, а его получение комментируется визуально, вспомогательными линиями. Доказательство очевидно, видимо явно, глазами на рисунке.

Задача 3. Доказать, что вписанный треугольник с диаметром круга в качестве основания — всегда прямоугольный.

Ранняя геометрия Индии основана на перцептивной простоте, например симметрии (рис. 11). Чтобы решить задачу 3, чертят линию из вершины исходного треугольника через центр круга и получают треугольник (рис. 11, справа), расположенный симметрично исходному внутри круга. Линия симметрии — горизонтальная линия, одновременно и диаметр окружности. В итоге получают целое — прямоугольник как композицию двух треугольников (один со штриховкой, другой белый), имеющих общее основание — горизонтальную линию диаметра. У прямоугольника и построенного треугольника — один угол, общий и равный 90°.

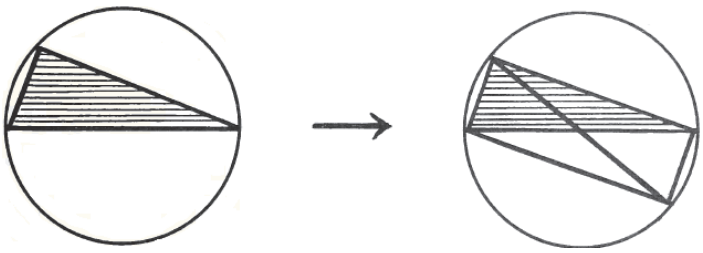
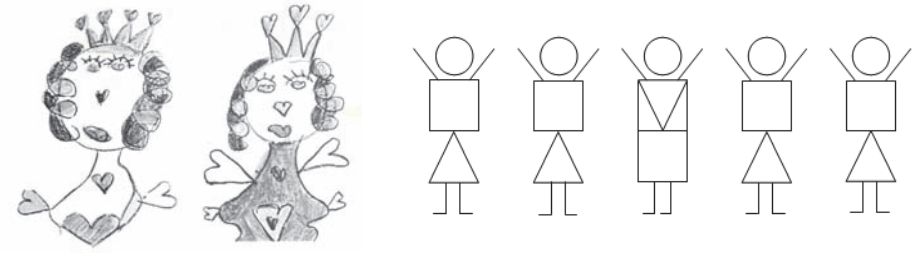


Рис. 11. Иллюстрация самоочевидного решения задачи в традиции геометрии Индии

Задача 4. Создание изображений для лучшего понимания мира. Чтобы проследить визуальное мышление в образах искусства, нужно искать хорошо структурированные формы и отношения, характеризующие концепты и их приложения. Их легко найти в рисунках детей: молодой ум действует с элементарными формами, редуцирующими сложность изображаемых объектов. У них недостаток умений и шаблонов, но им нравится видеть, как «что-то» возникает там, где ничего не было. Они любят сильные цвета и шквал форм, портить, атаковать и уничтожать.

На рисунке 12, *а* показаны рисунки пятилетней девочки, использующей форму сердечка, чтобы изображать носы, броши, платье, руки, крылья, корону и т. д. Композиция хотя и условна, но отображает для понятий все черты и функции, они просто структурированы, легко схвачены, что упорядочивает сложный мир. На рисунке 12, *б* изображены «треугольные человечки», символизирующие понятие простыми геометрическими формами.



а *б*

Рис. 12. Рисование ограниченными формами:
а — рисунок пятилетней девочки, «рисование сердечками»;
б — «треугольные человечки» — дидактический материал для устного счета по математике третьего класса на примере решения задачи: «Назовите геометрические фигуры, из которых составлены человечки. Кто из пяти лишний и почему? Чем он отличается от остальных?» [31]

На рисунке 13 приведены работы Джованни Баттиста Брачелли — итальянского гравера и художника-маньериста, повлиявшего на сюрреализм XX века [30].

Рис. 13. Гравюры Джованни Баттиста Брачелли в стиле маньеризма

На гравюрах изображены человеческие фигуры, составленные из различных предметов и геометрических форм, предвосхищая эксперименты современного кубизма. Они прославляют красоту тела в геометрических формах и представляют его с абсолютно новой и уникальной точки зрения.

Правополушарное рисование Б.Эдвардс [9]. Рассмотрим эксперименты Б. Эдвардс: 1) по подавлению левополушарного мышления и активации плавополушарных механизмов; 2) рисованию проблем в аналоговой форме и 3) негативным пространствам.

Левополушарный (Л-режим, рис. 14): вербальный, синтаксический, линейный, последовательный, аналитический, логический, символический, временной, цифровой. Правополушарный (П-режим, рис. 14): вербальный, образный, комплексный, одновременный, синтетический, интуитивный, конкретный, вневременной, пространственный. Эти два режима могут сотрудничать, дополняя друг друга и сохраняя при этом свой стиль мышления.

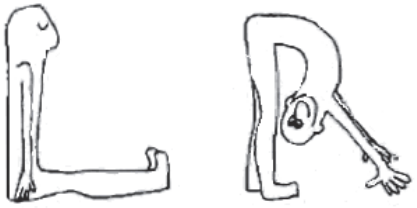


Рис. 14. Л- и П-режимы (изображения соответствуют латинским буквам L и R): это студенческий рисунок, визуально показывающий разницу режимов: Л-режим сидит прямо, он прямоуголен и непреклонен, глаза его закрыты на мир; П-режим, всегда принимающий разные углы наклона, широко раскрытыми глазами игриво рассматривает окружающий мир вниз головой

В противоположность Л-режиму правая половина мозга у большинства людей ищет взаимосвязи между частями и определяет, как их сложить в одно целое. Ему «привычны» двусмысленность, сложность и парадоксальность. П-режим трудно выразить словами.

Л- и П-режимы — основа познания, два взгляда на реальный мир, согласуются нервными волокнами мозолистогго тела, что обеспечивает людям единство своего «я», чувствовать себя одним человеком. «Работая» над одной и той задачей эти мозговые режимы конкурируют или сотрудничают,

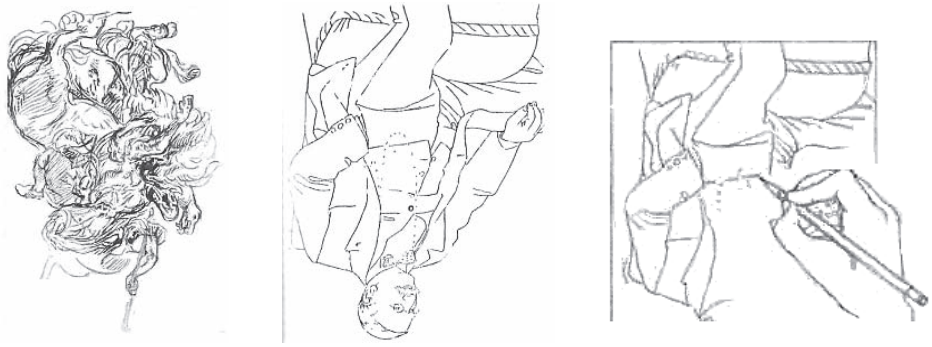
Задача 1. Перевернутое рисование, подавление Л-режима и переключение на П-режим. Результаты экспериментов — знания о контроле над умонастроением, в условиях перевернутого рисования форм объектов и людей прорисовкой краев.

Рассказ Б. Эдвардс. «Сегодня мы будем выполнять перевернутые рисунки». Я приколола к классной доске репродукции рисунков мастеров вверх ногами и велела ученикам скопировать эти рисунки, не переворачивая их в правильное положение. В классе стало тихо, и дети принялись за дело с видимым удовольствием и сосредоточенностью. Закончив, дети перевернули

рисунки в нормальное положение и стало ясно — хорошие рисунки получились у всех. Они объяснили это так: «Ну, мы не знали, что рисуем, и поэтому смогли сделать это». «Сделать что?» — спросила Б. Эдвардс. «Увидеть», — сказали они. «Почему же вы не могли увидеть этого в нормальном положении? «В нормальном положении слишком трудно, запутанно». Перевернутое рисование помогло мозгу перейти от работы с названиями и категориями (Л-режима) к визуальному восприятию. Это «обман» Л-режима, и мозг не способен научиться его распознавать. Художники знают и другие «гасящие» Л-режим хитрости: скучное, многократное рисование одной и той же линии или формы; быстрые поверхностные зарисовки; длительные периоды пребывания в одиночестве и т. п.

Переворачивая проблему вверх ногами, можно увидеть инсайтное решение проблемы: Форд, вместо традиционного вопроса «Как доставить рабочую силу к материалам, которые должны быть обработаны?», спросил: «Как доставить работу к людям?» Свежий взгляд увидел «конвейер».

На рисунке 15, слева показан перевернутый рисунок линиями сложной проблемной ситуации, разглядеть которую трудно, при том что фрагменты угадываются сразу. Смысл перевернутого рисунка ясен спустя какое-то время.



а *б* *в*

Рис. 15. Перевернутые изображения:
а — Э. Делакруа «Араб на лошади, атакованный львом»;
б — П. Пикассо «Портрет Льва Бакста»;
в — техника рисования перевернутого изображения — от одной линии к соседней и от линии — к прилегающему пространству

Перевернутый рукописный текст на рисунке 16 расшифровать также очень трудно.

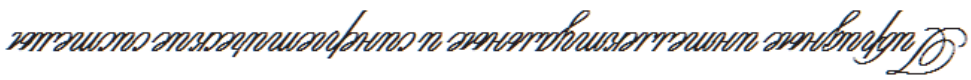


Рис. 16. Написано от руки в перевернутом виде:
«Гибридные интеллектуальные и синергетические системы»

Переворачивание — эффективный способ включения П-режима, чтобы разгядеть мысли. Рассматривая рисунки под разными углами, можно увидеть что-то новое.

Задача 2. Рисование проблемы в аналоговой форме, изобразить рисунком проблемную ситуацию, что-то не укладывающееся в систему убеждений и ценностей, что за гранью понимания. Цель — увидеть ситуацию в новом свете, в новом ракурсе. Это достигается в традиции Фомы Аквинского тремя шагами изображения: цельности, гармонии и ясности.

Цельность — придание проблеме формы линией от руки. Граница отделит проблему от окружения и сделает проблему видимой как единое целое. Проблему можно определять постепенно, серией рисунков.

Гармония — понимание рисунка, «прочтение в П-режиме» соотношения частей в границах формы, одновременно видеть образ как одно целое и наблюдать его части. Автор находит собственные мысли в неожиданных формах, новую информацию, выраженную линиями и структурой.

Ясность — понять информацию рассудком, в Л-режиме, выразив рисунок-проблему словами. Важно удержать в памяти одновременно оба описания — визуальное и вербальное — в равной степени действительные, ценные и взаимодополняющие.

Ниже приведены студенческие «проблемные аналогии» (рис. 17).

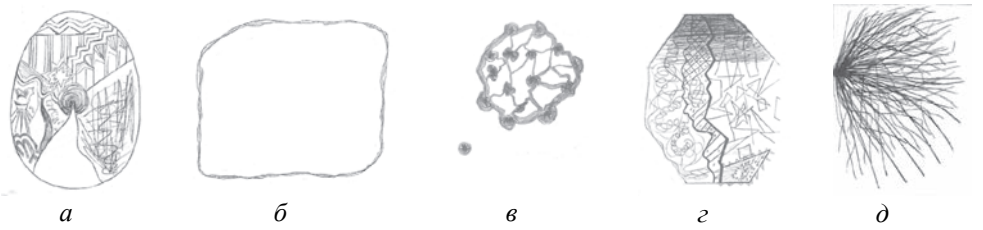


Рис. 17. Вербальные описания визуальных проблемных аналогий:
а — «Куда я иду? Одна часть меня хочет заняться бизнесом или юриспруденцией и стать большим человеком; другая хочет заняться моделированием одежды. Другая часть просто запуталась!»; *б* — «проблема: карьера, ведущая в никуда. Вся жизнь идет в никуда, нет никакого направления»; *в* — «попытка приспособиться, найти свою “нишу”, установить связь с другими людьми» (студент обозначил верх рисунка; положение маленькой изолированной формы относительно большой формы — критически важный элемент для понимания смысла аналогии); *г* — «я наверху со всеми своими сложностями. Вещи и идеи поступают ко мне со всех сторон. Главная проблема — я не могу выбрать карьеру — фактически, жизненный путь. Одна сторона ориентирована на ученую степень; другая сторона, творческая, игривая, ориентирована на искусство и литературу. Путь к счастью лежит где-то посредине, но становится все труднее и труднее определиться с выбором. Я чувствую, что заблудилась»; *д* — «Я вижу в этом рисунке сильную боль. Я никогда раньше не понимал, пока не сделал этот рисунок, как сильно отец обидел меня — не разозлил, не оскорбил, а именно обидел»

Задача 3. Восприятие негативных пространств. В искусстве есть поговорка: «Если можешь решить негативные пространства, считай, что решил рису-

нок». «Решить» — создать рисунок, картину как единый, цельный образ. Восприятие негативных пространств — второй базовый компонент визуальных решений.

Восприятие негативных пространств переносит внимание «решателя» с объектов («позитивных форм») на края пространств между ними («негативных форм» или «негативных пространств», участки, не узнаваемые как именованные объекты. Пример — пространства между ступеньками приставной лестницы, т. е. то, «чего нет», то, где «пусто».

Сталкиваясь с производственной проблемой, японские менеджеры концентрируются на пространствах вокруг проблемы — на контексте затруднений, а не нацеливаются на «выделение проблемы», «идентификацию целей», «принятие решений». Поэтому они не понимают термин «принятие решений». Допуская неопределенность проблемной ситуации, они акцентируют внимание на исполнении объединяющей функции пребывания в «пространстве между».

На рисунке 18, слева изображена лежащая на листе левая рука испытуемого. Ее пальцы расположены так, чтобы они создали хотя бы одно (или несколько) замкнутых пространств. Если сосредоточить взгяд на замкнутой области между указательным и большим пальцем, то спустя некоторое время оно предстанет как форма. На рисунке 18, справа показана результирующая форма краев негативных пространств, в том числе и областей между краями пальцев и краями листа бумаги. Удивительно, что пальцы видимы, хотя на рисунке их нет. Парадокс: легче рисовать то, чего вы не знаете, чем то, что вы знаете. Рисуя негативные пространства, имеющие общие края с рукой, вы неотвратимо рисуете руку. Пальцы нарисованы правильно, потому что их не рисовали.

Рис. 18. Вариант расположения руки — слева; рисунок замкнутых пространств; попытайтесь увидеть не нарисованные края пальцев — справа

Визуальное управление Тайити Оно [32]. Считается, что визуальное управление родилось в концепции Тайити Оно — автора бережливого производства, стержня системы «Тойоты» (Япония).

Визуальное управление (англ. visual management) — ясный, простой и эффективный способ организовать работу и отчитаться о ней, чтобы все видели работу всех, а организация стала «прозрачной» [33], процесс, обеспечивающий человеческий фактор простыми наглядными сигналами для немедленного реагирования на новые условия и обстоятельства.

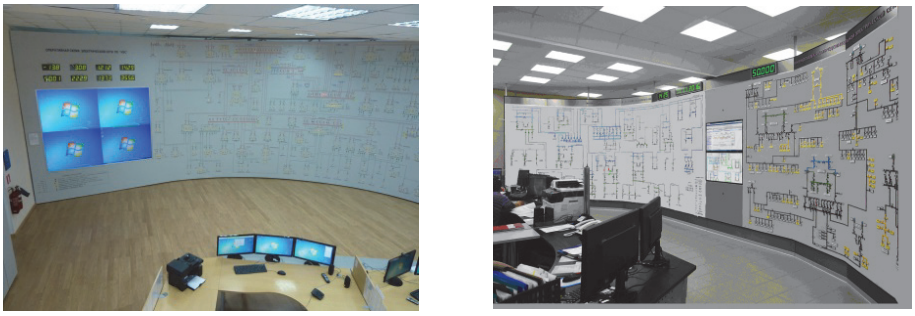
Один из них — гемба (англ. gemba) из японской управленческой практики — контролирующая «прогулка» ЛПР по рабочим местам для осмотра и оценки происходящего. Визуальный контроль — эффективный и саморегулирующий фактор измерения наглядных сигналов: планов, невыполненных задач, складских запасов, расхода ресурсов и качества [34]. Цели визуализации контроля: 1) увидеть проблемы и понять ситуации на рабочем месте; 2) увидеть решения, прояснить действия по достижению целей. Способы визуального контроля: ключевые показатели (индикаторы), фотографии и разметка. Индикаторы — график или таблица на информационных досках каждого участка с изображением планового и фактического значения показателя: дневная выработка, количество ошибок и т. п. Фотографии рабочего места, стеллажа и т. п. выразительнее, чем текст («картинка стоит тысячи слов»). Разметка на полу движения материальных потоков ресурсов, места оборудования и т. п. Информационная доска отображает: показатели исполнения, показатели производительности (фактическая выработка по отношению к плановой, проблемы качества и т. д.). Визуальный план размещения сотрудников в офисе [35], общая информация: распоряжения, объявления и т. п. [36]. Например, в ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-СНАБЖЕНИЕ» есть визуализация зон на складе по принципу оборачиваемости, целей кладовщиков (текст), стандартной операционной процедуры (таблица), цепочки помощи (блочная схема), ступенчатый график помогает планировать все виды работ на сутки (таблица), чек-лист 5С (аттестационная карта) находится в гемба, помогает увидеть развитие участка по системе 5С (таблица) [37]. Визуализируют опасные места крупнейшие промышленные предприятия: ПАО «Газпром», АО «СУЭК», ОАО «Кольская горно-металлургическая компания», ПАО «Северсталь», ПАО «Уралкалий» [38] (рис. 19).

а *б* *в*

Рис. 19. Примеры визуализации:
а — доска решения проблем в традиции «гемба» ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-СНАБЖЕНИЕ»; *б* — пример визуализации входной группы в цех, знаки воздействия вредных веществ и шума; *в* — визуализация в офисе канцелярии государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Иной подход к визуальному управлению принят в информационных, ситуационных и диспетчерских центрах. Информационный центр визуального

управления на Смоленской АЭС [39] предназначен для глубокого погружения в процесс, наладки конструктивных коммуникаций, оперативного реагирования на ключевые события и организации многоуровневой системы решения проблем (рис. 20). Утренних десятиминутных «летучек» достаточно для получения оперативно-стратегической информации, позволяющей увидеть первоочередные задачи, выявить отклонения и наметить действия для исправления ситуации. Огромный объем данных, ранее разрозненных, собран, систематизирован и представлен в удобном для восприятия, оцифрованном виде: графиках, схемах, диаграммах и таблицах. Инфоцентры на всех уровнях управления (в подразделениях и малых группах) эффективнее в среднесрочной перспективе на 10—30 %. Бережливое производство и визуальное управление уменьшают простои в 5—20 раз, длительность цикла изготовления в 10—100 раз, складские запасы в 2—5 раз, брак в 5—50, дают рост производительности в 3—10 раз [34].



а *б*

Рис. 20. Примеры информационных центров визуального управления:
а — комплексное решение компании ПОИСК [41]: мнемосхема, пластиковая аппликация, LCD-панели; *б* — диспетчерский щит S — 2000, встроенные видеокубы ООО «НТК Интерфейс» [42]

Ситуационный центр [40] — программно-технический комплекс, инструмент решения производственных и коммерческих задач: мониторинга обстановки, контроля ключевых параметров в пределах норм; предоставления руководству форматированной информации; повышения эффективности коллективной работы групп экспертов и аналитиков; прогноза и оценки развития ситуаций. Организационно ситуационные центры включают зоны мониторинга, аналитической работы, принятия решений и обслуживания.

В зоне мониторинга работают операторы. Они контролируют поступающую по каналам обратной связи информацию, сигнализируют о чрезвычайных ситуациях и готовят информацию для аналитиков. Специалисты-аналитики выявляют причинно-следственные связи, закономерности в объекте управления (ОУ), готовят и корректируют нормы и прогнозы. В двух первых зонах инструментально поддержаны, автоматизированы пассивные управле-

нческие действия-фазы управления, не образующие командную информацию для ОУ, результаты которых передаются в зону принятия решений. Чаще всего это комната совещаний «за круглым столом» малой группы экспертов под руководством ЛПР и необязательно консультантов по коллективной работе. Они могут как «регулятор», используя контрольную информацию, передать в ОУ управляющее воздействие для ликвидации отклонений от нормы и плана. Они могут оформить решения планово-распорядительной документацией для достижения ОУ на некотором интервале времени (горизонте) целевого состояния и передать по каналам прямой связи в ОУ. Наконец, они могут принять решения по реорганизации деятельности управляющей подсистемы в документах оргструктуры, в должностных инструкциях и методических указаниях. Результаты действий в зоне принятия решений «активны», поэтому регулирование, планирование и организацию называют активными фазами влияния на процессы и явления в ОУ. В зоне обслуживания специалисты-информатики обеспечивают бесперебойную работу информационно-программно-технического комплекса.

Анализ подходов визуального управления показывает, что: 1) визуализацию локального рабочего места следует отнести к методам улучшения качества индивидуального принятия решений; однако трудно представить прогулку по рабочим местам гемба в электросетях, на транспорте, в городском хозяйстве, биопроизводственных агросистемах, регионах, а также в чрезвычайных ситуациях, военных операциях, на переговорах, совещаниях за круглым столом; 2) визуализацию информационных, ситуационных центров, комнат для совещаний за круглым столом и др. следует отнести к методам улучшения качества полиязыкового, поликультурного, полинационального, коллективного принятия решений, с разнообразием профессий операторов, аналитиков, экспертов, консультантов, ЛПР, отсюда и качественным влиянием человеческого фактора; 3) визуальное управление субъективно, оперирует категориями, понятиями и концептами внутреннего мира человека: задача, проблема, решение, план, оценка, возможность, факты, утверждения, гипотеза, эмоции, убеждения, умозаключения и др., влияющих на восприятие и действия субъекта во внешнем мире; 4) визуальное управление развивает (восстанавливает утраченные) навыки эффективного мышления по конструированию и манипулированию образами-метафорами и образами-символами; 5) визуальное управление развивает эффективную языковую коммуникацию в коллективе (русский язык сохранил образность, примерно, на 30—40 %), семантическую трансформацию образа в форму, семиотическую трансформацию образа в символ и знак; 6) индивидуальное и коллективное визуальные управления — сложные комбинации деятельностей во внешнем и внутреннем мире экспертов, редуцируемые в системном анализе на составные части, фазы и отношения между ними (причинно-следственные, временные, информационные, включения и др.), систематизации и исследование дают понимание и достижение системной синергии.

3. Символизация и схематизация функциональных гибридных интеллектуальных систем

Категориальный базис языка ФГиИС. Один из результатов в теории систем и системном анализе получен А.И. Уёмовым [43], предложившим в качестве базиса системного подхода к анализу и синтезу сложных объектов триаду категорий «вещь — свойство — отношение». Главная особенность триады «вещь — свойство — отношение» состоит в том, что «все эти категории определяются друг через друга, причем центральной, основной категорией является категория вещи» [43].

Определение 1. Вещь — это система качеств; различные вещи — это различные системы качеств; одна и та же вещь — это одна и та же система качеств; все вещи существуют в пространстве и времени.

Определение 2. Свойство — все то, что не является границами данной вещи. Это то, что, характеризуя вещи, не образует новых вещей. Качество и свойство иногда очень трудно различать.

Отношения сложнее и абстрактнее вещей и свойств. Последние можно воспринимать чувственно. Отношения же чувственно не воспринимаются.

Определение 3. Отношение — то, что образует вещь из данных элементов (свойства или других вещей). Отношение — есть то, что, будучи установлено между вещами, образует новые вещи.

Отображения отношений есть в искусстве, в частности изобразительном, в художественном конструировании, «слайдологии», когнитивной психологии, языкознании и когнитивной лингвистике, философии, информатике, дискретной математике и математической логике [44].

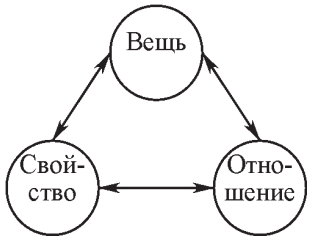


Рис. 21. Треугольник А.И.Уёмова

Между категориями вещи, свойства и отношения существует зависимость, выраженная «треугольником» А.И. Уёмова (рис. 21). Уместно и обоснованно положить треугольник А.И. Уёмова в основу построения концептуально-визуального базиса функциональных ГиИС визуального управления.

Преобразование категориального ядра применительно к теории предметной области. Непосредственное применение рассмотренного категориального ядра к системному анализу предметной области затруднительно из-за нескольких причин. Во-первых, категория вещи — верхний предел абстракции, что вызывает трудности с ее интерпретацией субъектом визуального управления и модельером ФГиИС. Во-вторых, имеются трудности с интерпретацией понятия «зависимость» между категориями ядра. Поскольку зависимость между ними — это отношение, то возникают как бы два вида отношений. В-третьих, категория «отношение» носит общий характер и целесообразно выбрать категорию, которая, будучи отношением, была бы в то же время предметно-ориентированной.

Трудности преодолены следующим образом [3]. Из множества вещей рассматриваются только *вещи-ресурсы* (просто *ресурсы*). Природные явления — ресурс, вне зависимости от эффекта их воздействия.

Из множества отношений выбраны отношения-действия (в дальнейшем просто *действия*), подчеркивая тем самым интерес к отношениям на ресурсах, установление (или разрыв) которых может изменить состояние объекта визуального управления, т. е. операции и процессы, в частности технологические и производственные.

Определение 4. Ресурс — понятие или форма, обозначающее (или символизирующее) вещь, имеющуюся у субъекта управления для решения задач. Природные явления — ресурсы. Например, главный двигатель, дизель-генератор, кран, бригада, судно, почва, семена, распределительная подстанция, воздушная линия электропередач и др.

Определение 5. Действие — понятие или форма, обозначающее (или символизирующее) отношения на ресурсах, как следствие деятельности, поступков и поведения. Например, перекачка топлива, выгрузка судна, боронование участка поля, преобразование, хранение, передача электроэнергии и др.

Выполненные преобразования изменяют вид треугольника А. И. Уёмова и изображены на рисунке 22. Модель на рисунке 22 дает достаточно простое и прозрачное структурирование мира визуального управления, утверждая, что это есть мир ресурсов, действий их свойств и девяти классов отношений «ресурс-ресурс», «действие-действие», «свойство-свойство», «ресурс-свойство» и «свойство-ресурс», «ресурс-действие» и «действие-ресурс», а также «действие-свойство» и «свойство-действие».

Первая особенность модели на рисунке 22 — ее ролевой характер, по сути, и сформулированы в перечне девяти классов отношений. Например, что выражение «ресурс-ресурс» — неявно выраженное отношение с двумя ролями, причем обе роли играют ресурсы. Ролевой характер придает модели универсальность и делает ее независимой от специфики предметной области.

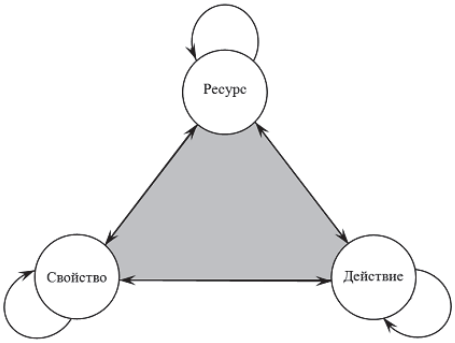


Рис. 22. Ролевая модель категориального ядра применительно к теории предметной области

Вторая особенность — ролевой характер модели может отображаться как в вербально-текстовом виде, языковым интеллектом эксперта, в ЯПД и служить инструментом построения искусственных информационных языков коллективной коммуникации, так и образно-символьном виде, пространственным интеллектом эксперта, в графических высказываниях ЯПД и служить инструментом построения искусственных информационных языков коллективной коммуникации для визуального управления.

Символизм базовых форм ФГиИС визуального управления. В предисловии к четырехтомному «Словарю символов» Ж. Шевалье пишет: «Днем и ночью, когда мы беседуем, выражаемся жестами, видим сны, каждый из нас сознательно или бессознательно пользуется символами. Они придают форму нашим стремлениям и желаниям, подталкивают нас к действиям и новым начинаниям, моделируют наше поведение, лежат в основе наших успехов и неудач ... Все науки, естественные и гуманитарные, искусство со всеми его направлениями — все, что составляет культуру человека, на своем пути встречается с символами. Все они должны объединить свои усилия, чтобы разгадать тайну символов и освободить энергию, сконцентрированную в них. Мало сказать, что мы живем в мире символов, — мир символов живет в нас».

Точка (рис. 23) — один из четырех фундаментальных символов. Символ творческой силы и конца всего. Точка начинает любое явление, лежит в основе всех измерений, порождает в своем развитии линию, порождает движение. Основные значения: центр; начало отсчета.

Рис. 23. Словарь базовых форм ФГиИС визуального управления

Прямая линия — составляющая всех геометрических фигур. У пифагорейцев — символ разума, «синоним» стрелы. В китайском символизме прямая линия — символ праведности и совершенства.

Круг — универсальный символ, означающий целостность, непрерывность и первоначальное совершенство. Это время, динамизм, бесконечное движение, завершение и исполнение. Знак духовного мира.

Квадрат — геометрическая фигура, символизирующая порядок, равенство, постоянство, землю, устойчивость и целостность, совершенный тип замкнутого пространства. Обычно он — знак материального мира.

Треугольник — символ поверхности. «Поверхность состоит из треугольников» (Платон). Треугольник — символ полной гармонии и равновесия. Все физическое, телесное, символически связывается с треугольником.

Стрела — символизирует направление, полет, скорость и достижение цели. Основные значения: солнечный символ, лучи, взлет, сила, действие, целенаправленность, энергия, преодоление пространства, импульс.

Концептуально-визуальный базис ФГиИС визуального управления. Графически на рисунке 24 визуальный базис обозначен серой окружностью в метафоре единства и целостности, описанной вокруг «порождающего» треугольника «ресурс-свойство-отношение». Категорию вещи символизирует форма «квадрат», категорию свойства — форма «треугольник», а категорию действия — форма «стрелка», которых в сочетании с плоскостью, цветом и тестурой достаточно для визуального высказывания любой сложности.

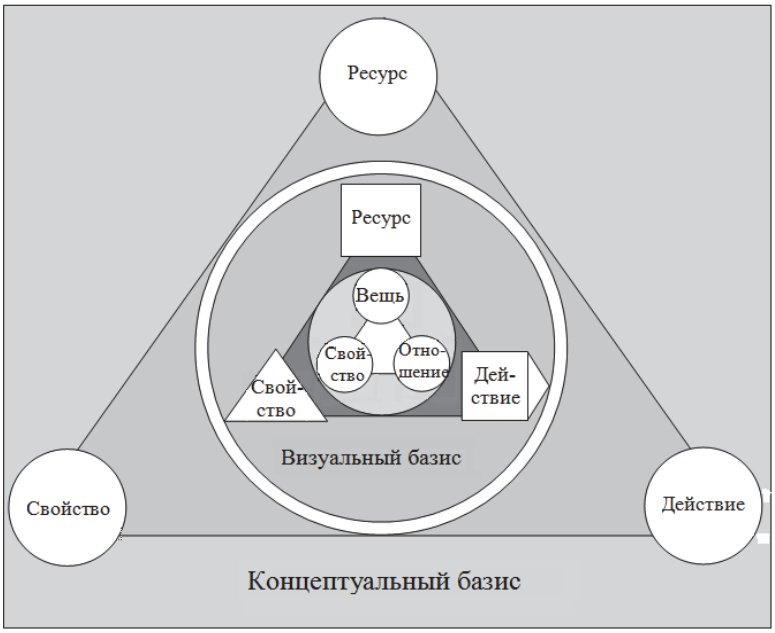


Рис. 24. Концептуально-визуальный базис функциональных гибридных интеллектуальных систем визуального управления

Визуальный базис, символизируемый окружностью, «окружен оболочкой» концептуального базиса — квадратом. Концептуальный базис — это словарь лексем, над которым строятся знаковые высказывания полиязыка профессиональной деятельности.

В квадрат — метафору лексического базиса ЯПД вписана фигура — «Ролевая модель категориального ядра применительно к теории предметной области» на рисунке 23, треугольная форма с вершинами, обозначенными как «ресурс-свойство-действие», описана вокруг окружности — метафоры визуального базиса (петли при вершинах опущены). Треугольник «ресурс-свойство-действие» наследует категориальный базис от треугольника А. И. Уёмова (рис. 21). На рисунке 25 показано расширение ролевой модели категориального ядра: единицами измерения (мерами), значениями, состояниями, оценками, параметрами (физическими свойствами), характеристиками (характеристическими свойствами) и именами (именными свойствами).

Над расширенным концептуальным базисом построена многоуровневая научная картина мира (рис. 26) из вербально-знаковых высказываний о ресурсах, свойствах, действиях, их иерархиях, пространственных и производственных структурах, ситуациях, состоянии и проведении объекта визуального управления, задачах и проблемах субъекта визуального управления, методах и интегрированных методах разработчика системы визуального управления [3].

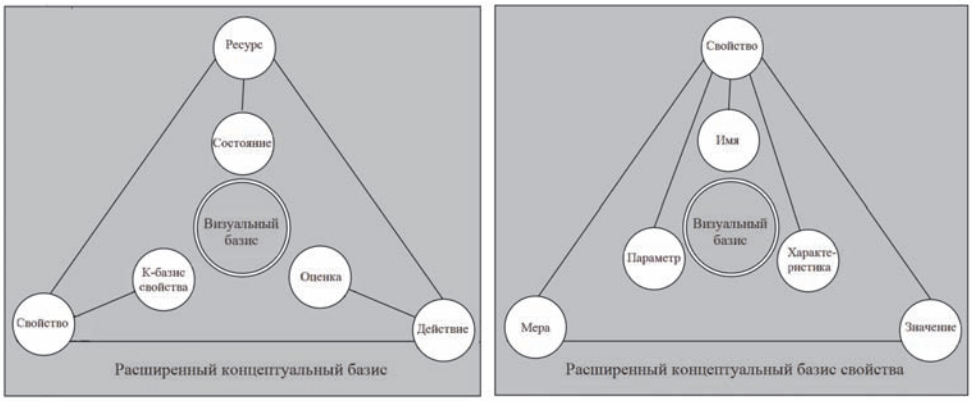


Рис. 25. Расширенный концептуальный базис ФГиИС визуального управления

Научная картина мира интеллектуального, визуального управления. На рисунке 26 изображена многоуровневая схема для системного анализа визуального управления и синтеза ФГиИС. Схема состоит из девяти трехролевых отношений (треугольных форм), штрихованная часть которых задает межуровневое взаимодействие.

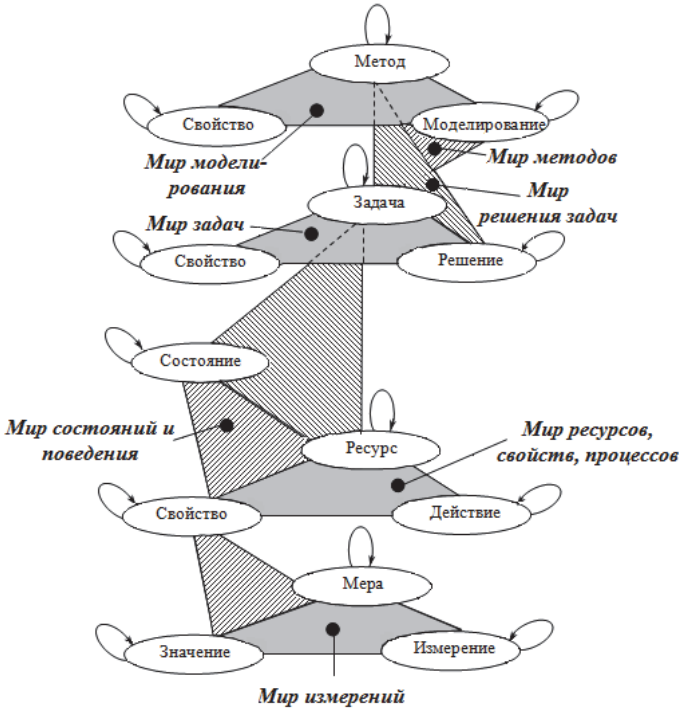


Рис. 26. Схематизированная научная картина мира интеллектуального, визуального управления

В общей сложности выделено пять взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом моделей, названных «моделями миров». На нижнем уровне показана модель мира измерений значений свойств-параметров посредством мер. Мир измерений связан с миром символов-образов и вербально-словесными знаками ресурсов, свойств и процессов трехролевой концептуальной моделью «значение-мера-свойство», изображенной в вертикальной плоскости, что обеспечивает перевод (трансформацию, преобразование) информации в другой мир, представляющий и манипулирующий информацией (данными и знаниями) уже в другой ролевой модели.

Существование еще одного мира — состояний и поведения — завершает научную картину объекта визуального управления: он представлен символами-образами и вербально-словесными знаками ситуаций и состояний.

Субъект визуального управления представлен мирами символов-образов и вербально-словесных знаков задач. Мир задач показан упрощенно, только задачами и их свойствами. В этом мире есть символы и образы проблем.

Мир задач связан с миром моделирования — последним уровнем схемы научной картины мира визуального управления трехролевыми отношениями «мир решения» и «мир методов». Последний — не застывший, а эволюционирующий мир. Здесь появляются символы-образы и вербально-словесные знаки новых методов и забываются известные, но выдержавшие проверки временем и практикой методы. Методы здесь специфицируются свойствами и схемой «язык-модель-процедура», отображающей понимание сильных и слабых сторон каждого из них, что особенно актуально для гибридизации. В этом мире нет и не может быть образов и знаков методов преодоления проблем. Символизм интегрированных методов и моделей вводится в мире моделирования.

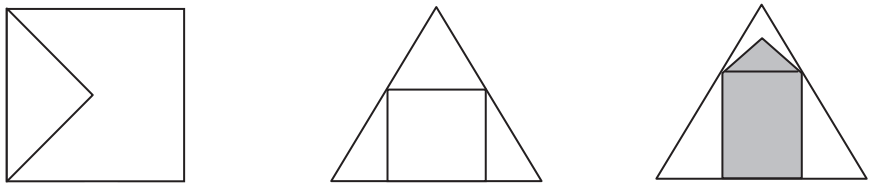
Верхний уровень — мир моделирования, мир разработки, синтеза ФГиИС. Основные роли здесь играют субъекты моделирования — модельеры, владеющие некоторым количеством, а может быть, и одним-единственным методом решения задач. В этом мире представлены символы-образы и вербально-словесные знаки «элемент ФГиИС», «гетерогенное модельное поле», «интегрированный метод», «интегрированная модель», «функциональная гибридная интеллектуальная система», «ПС-методология ФГиИС» и «ПС-технология ФГиИС».

В докладе рассматривается «восхождение» ФГиИС к символу, конструирование над визуальным базисом по схеме многоуровневой научной картины мира визуального управления визуально-символьных высказываний о ресурсах, свойствах, действиях, их иерархиях, пространственных и производственных структурах, ситуациях, состоянии объекта, задачах и проблемах субъекта визуального управления, методах решения задач, интегированных методах и моделях, в частности, функциональных ГиИС для решения проблем.

Понятие ролевых визуальных отношений. В [3] введено и развито понятие «ролевое концептуальное отношение» в двух формах вербально-знакового представления одно-, двух- и трехролевых конструктов: 1) семантическими

RKX — кодами и 2) концептуальными граф-схемами. В докладе акценты смещены на «ролевые визуальные отношения» и их отображение образно (визуально)-символьными графическими высказываниями.

Определение 6. Ролевое визуальное отношение — неявно, композиционно выраженное отношение ролей, символизирующих формы ресурсов, свойств и действий — претендентов на занятие той или иной роли. На рисунке 27 приведены примеры схем ролевых визуальных отношений.



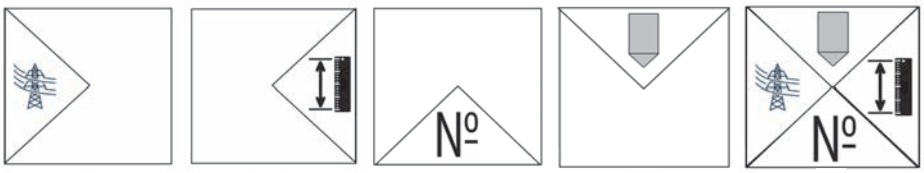
а *б* *в*

Рис. 27. Примеры схем двухролевых визуальных отношений:
а — «ресурс-свойство»; *б* — «свойство-ресурс»; *в* — «свойство-действие»

Конструирование схем ролевых визуальных отношений подчиняется правилам соответствующей визуальной грамматике [45] и может помимо элементов визуального базиса включать общепринятые или специально разработанные пиктограммы.

Конструирование визуально-символьных высказываний о ресурсах. На рисунке 28 слева направо показана последовательность шагов преобразования визуально-символьной информации и конструирования из базовых символов и пиктограмм композиционного комбинирования ролевыми визуальными отношениями графических высказываний (символов) о ресурсах электроэнергетики: генераторах, подстанциях, высоковольтных линиях передачи электроэнергии и нагрузках-потребителях.

В итоге на рисунке 28, *д* изображено графическое высказывание, символизирующее ресурс как четырехролевое визуальное отношение. Детальная, но уже вербально-знаковая информация о ресурсе может получена тем или иным способом указания на то или иное ролевое визуальное отношение.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 28. Формообразование графического высказывания «ресурс»
из четырех ролевых визуальных отношений:
а — «ресурс-характеристика» («иметь характеристику»);
б — «ресурс-параметр» («иметь параметр»); *в* — «ресурс-имя» («иметь имя»);
г — «ресурс-действие» («быть предназначенным для»); *д* — графическое высказывание
символизирующее ресурс, как четырехролевое визуальное отношение

Конструирование визуально-символьных высказываний о свойствах. На рисунке 29 показана слева направо последовательность шагов преобразования визуально-символьной информации и конструирования из базовых символов и пиктограмм с помощью композиционного комбинирования их ролевыми визуальными отношениями графический высказываний (символов) о свойствах. В итоге на рисунке 29, *д* изображено графическое высказывание, символизирующее свойство как четырехролевое визуальное отношение. Поясним использованную для конструирования графического высказывания о свойстве пиктограмму на рисунке 30, *а*.

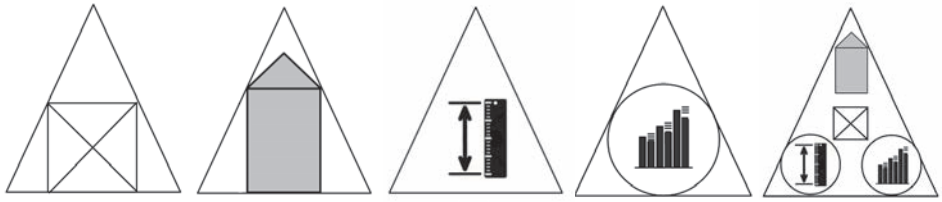


Рис. 29. Формообразования графического высказывания «свойство» из четырех ролевых визуальных отношений:
а — «свойство-ресурс» («быть свойством ресурса»); *б* — «свойство-действие» («быть свойством действия»); *в* — «свойство-мера» («иметь меру»); *г* — «свойство-значение» («иметь значение»); *д* — графическое высказывание, символизирующее свойство как четырехролевое визуальное отношение

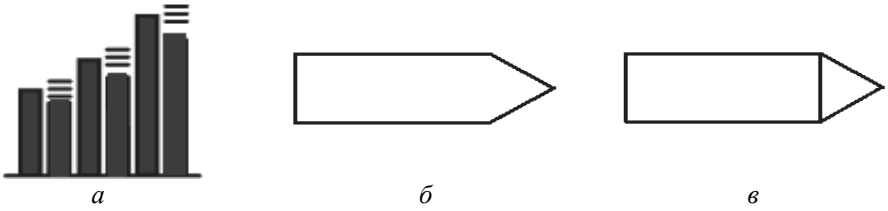


Рис. 30. Конструирование визуально-символьных высказываний:
а — пиктограмма «количественные и качественные значения»;
б, в — трансформация базового графического высказывания «стрелка» на две части: «высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-ресурс»» символизирует прямоугольник и «высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-свойство»» символизирует треугольник

Здесь показано «значение», которое может быть измерено точно и выражено через число единиц меры (обозначено темным прямоугольником), так и качественно, например «длинное судно» (обозначено темным прямоугольником с «нечеткой» верхней стороной).

Детальная, но уже вербально-знаковая информация о свойстве может получена тем или иным способом указания на то или иное ролевое визуальное отношение.

Конструирование визуально-символьных высказываний о действиях выполнено на примере действий на физическом пути электроэнергии: производстве, передаче и потреблении. Преобразование информации о базовой форме действия — «стрелки», слева направо изображено на рисунке 30, *б*, *в*. Эта форма разделена на две части вертикальной линией: 1) высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-ресурс» символизирует прямоугольник; 2) высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-свойство» символизирует треугольник. Полученная форма (справа) символизирует, что обе части составляют единое целое — символ «действие».

Рассмотрим первую часть графического высказывания на рисунке 30, *б*, а именно графическое высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-ресурс» (рис. 31).

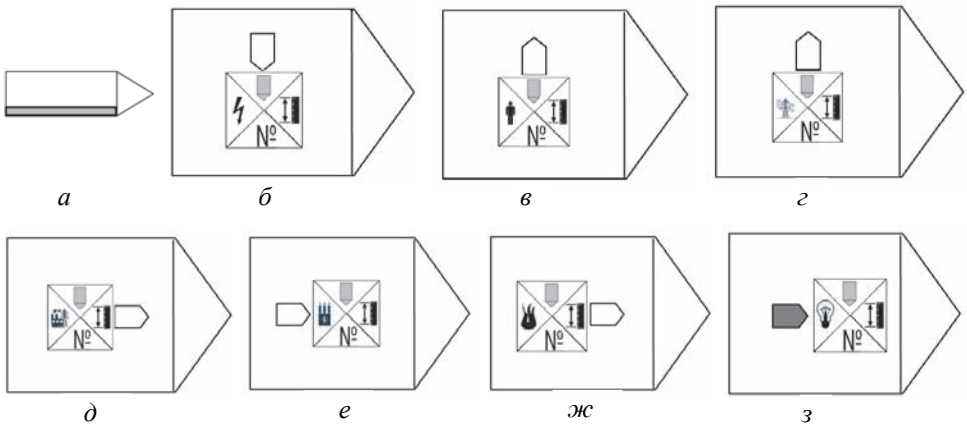
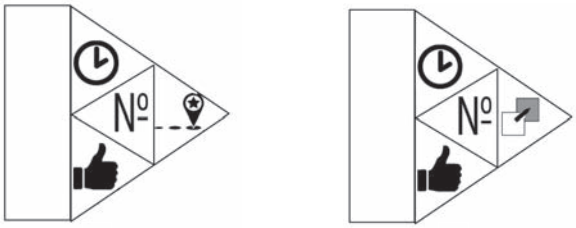


Рис. 31. Графические высказывания о ролевых визуальных отношениях «действие-ресурс»:
а — «действие-место» («иметь местом»); *б* — «действие-объект» («иметь объектом»);
в — «действие-субъект» («иметь субъектом»); *г* — «действие-средство» («иметь средством»);
д — «перемещение — из» («из»); *е* — «перемещение — в» («в»);
ж — «преобразование-сырье» («иметь сырьем»);
з — «преобразование-продукт» («иметь продуктом»)

Ресурс — место действия на рисунке 31, *а* представлен упрощенно и выделен темным цветом.

Рассмотрим вторую часть графического высказывания на рисунке 30, *в*, а именно графическое высказывание о ролевых визуальных отношениях «действие-свойство» (рис. 32).

Пример графического высказывания о действии «передача *объекта* — электроэнергии, *субъектом* — диспетчером, *посредством* воздушной ЛЭП, *из* тепловой ТЭЦ, *в* трансформаторную подстанцию, *на* ограниченной территории, *время начала и время окончания*, *наименование*, *характеристики*, *оценки*» показан на рисунке 33.



а *б*

Рис. 32. Графические высказывания о ролевых визуальных отношениях «действие-свойство» для:
а — действия перемещения (передачи); *б* — действия преобразования: «действие-время» («иметь время начала», «иметь время окончания»); «действие-имя» («иметь имя»); «действие-характеристика» (иметь характеристику»); «действие-оценка» («иметь оценку»)

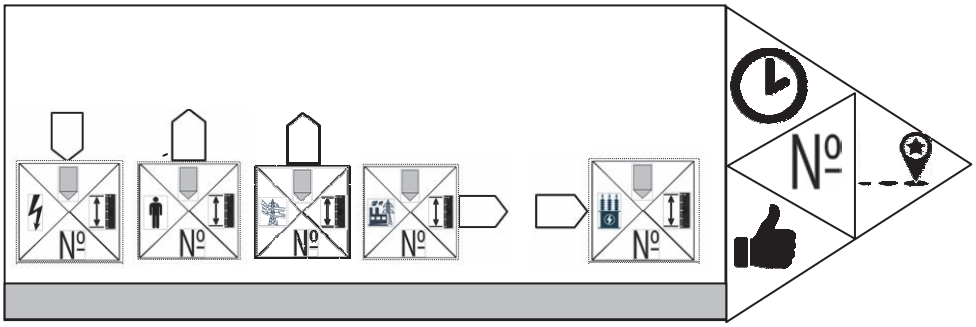


Рис. 33. Графическое высказывание, символизирующее действие «передача объекта — электроэнергии, субъектом — диспетчером, посредством воздушной ЛЭП, из тепловой ТЭЦ, в трансформаторную подстанцию, на ограниченной территории, время начала и время окончания, наименование, характеристики, оценки»

Таким образом, графическое высказывание символизирует и ролевые отношения «ресурс-ресурс», отображая и «привязку» одних ресурсов к местности, т. е. к ресурсу «место действия».

Конструирование визуально-символьных высказываний о иерархиях ресурсов, действий и свойств. На рисунке 34 показаны визуально-символьные высказывания о иерархиях ресурсов, действий и свойств. Формы изображены упрощенно.

Рассмотренные выше графические высказывания позволяют перейти к конструированию визуально-символьных высказываний о процессах и пространственной структуре в объекте визуального управления.

Конструирование визуально-символьных высказываний о процессах. Процесс — ряд действий, следующих одно за другим. Это графическое высказывание, комбинирующее формы ресурсов и формы действий. На рисунке 35 различные виды процессов, по У. Боумену (рис. 8, см. с. 36), символизированы композициями базисных форм (рис. 23, см. с. 50).

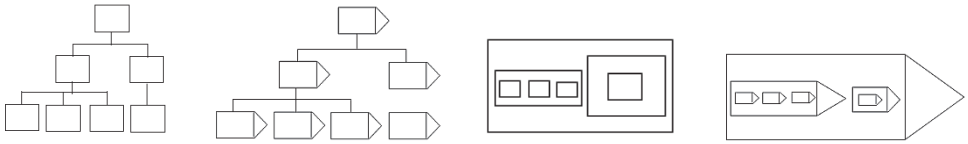


Рис. 34. Графические высказывания:
а — об иерархии ресурсов: явная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»; *б* — об иерархии ресурсов: неявная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»; *в* — об иерархии действий: явная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»; *г* — об иерархии действий: неявная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»

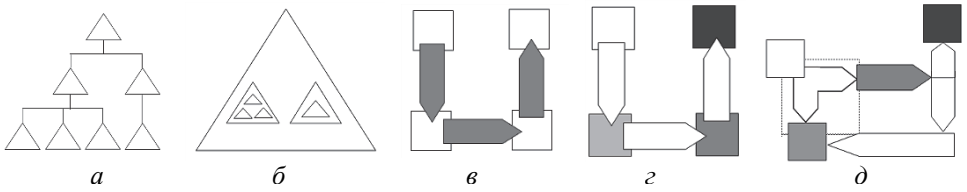


Рис. 35. Графические высказывания:
а — об иерархии свойств: явная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»; *б* — об иерархии свойств: неявная репрезентация ролевого визуального отношения «иметь в составе», «целое-часть»; *в*, *г* — о регулярном процессе; *д* — о дифференцированном процессе

Процесс перехода объекта управления из одного состояния в другое символизирован на рисунке 36, *а*, а циклический процесс возврата объект управления в исходное состояние — на рисунке 36, *б*. На отдельных стадиях процессов акценты показываются изменением формы, цвета (рис. 36). Фазовый процесс «жизненный цикл производства» (стрелки — фаза: исследование, конструирование, подготовка, обеспечение, обслуживание, производство, контроль качества, реализация) и «жизненный цикл управления» (стрелки — фаза: учет, контроль, анализ, нормирование, прогнозирование, регулирование, планирование, организация) символизирован на рисунке 36.

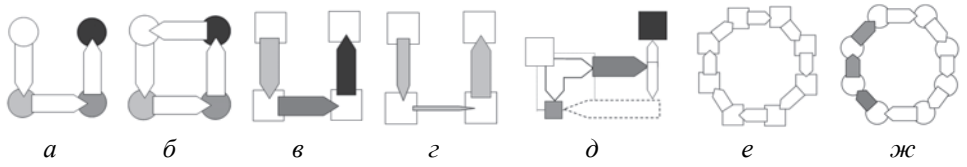
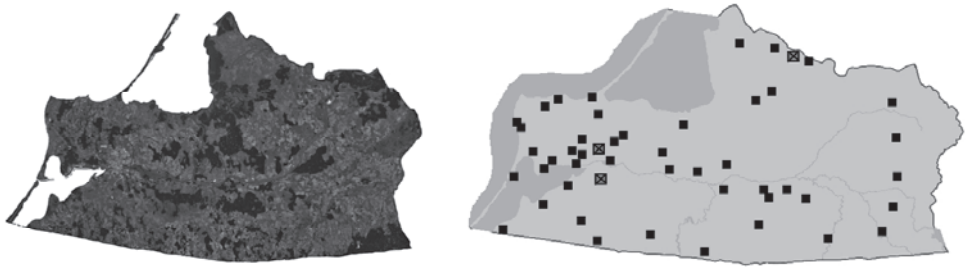


Рис. 36. Графические высказывания:
а — о переходе объекта из состояния в состояние; *б* — о циклическом процессе; *в*—*д* — о процессе с ударением; *е*—*ж* — о фазовом процессе

Конструирование визуально-символьных высказываний о пространственной структуре. Внешний мир визуального управления составляют статические и динамические ресурсы. Первые относительно устойчивы в своем местоположении (расположении) относительно друг друга и выбранной системы отсчета. Вторые перемещаются относительно статичных и друг друга. Их местоположение фиксируется в пространственном окружении. В любом случае, графические высказывания должны давать ответ на вопрос: «Где находится ресурс?» Ответ на этот вопрос символизируется высказываниями о 1) месте или области нахождения ресурса; 2) его расположении в окружающей среде; 3) его положении относительно других статичных ресурсов. Эти три аспекта связаны друг с другом. На практике они не отличаются.

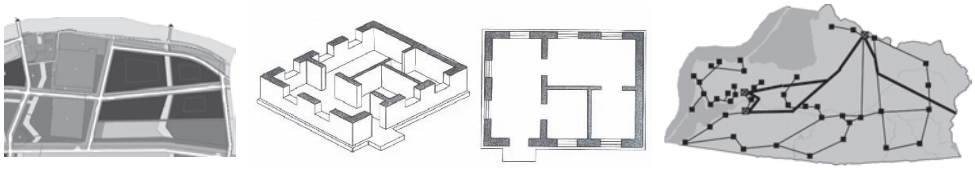
Место (англ. region, place) — часть пространства, занимаемого ресурсом в его естественном окружении. Физическое место показывается в связи с естественными характеристиками самого места и его ближайшего окружения (рис. 37). Расположение (англ. location) — пространственное отношение между ресурсом и его общим окружением. В графическом изображении среда выступает как система отсчета для ресурса, размеры которого обычно делаются минимальными, чтобы внимание сосредоточивалось на месте его расположения. Описательные расположения показывают элементы объекта, которые имеют определенную физическую форму относительно окружающей среды. Как символы расположения, они сохраняют свои особенности и поэтому часто служат описанием не только расположения, но и места, занимаемого элементом (рис. 38).



а *б*

Рис. 37. Графические высказывания:
а — о физическом месте «Калининградская область»; *б* — о расположении подстанций 330 кВ (серые квадраты с диагоналями) и 110 кВ на территории Калининградской области (показано условно-приближенно)

Расположение сети — обобщенная схема маршрутов и станций в отношении к их окружению (рис. 38, *а*). Стационарные элементы в зависимости от потребностей могут быть формализованы, символизированы или поданы описательно. Как графический образ маршрутно-станционная сеть реализуется с помощью линейной и фокальной форм (точки и малые формы).



а *б* *в*

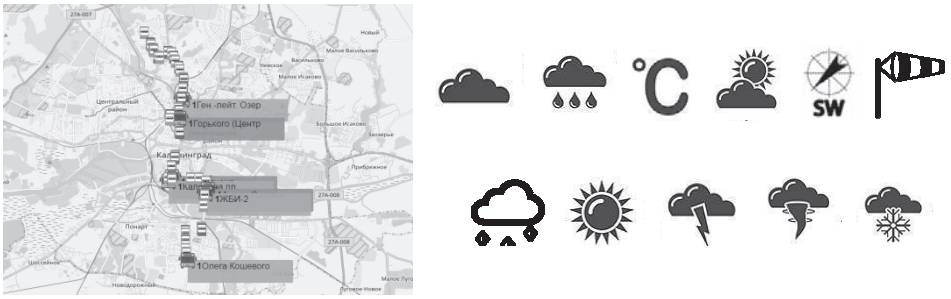
Рис. 38. Графическое высказывание:
а — «схема планировочной организации территории с проектом межевания в границах «набережной Карбышева — набережная Ветеранов — р. Преголя» в Московском районе г. Калининграда; *б* — графическое высказывание «план здания»; *в* — о расположении электросетей Калининградской области (жирная линия — электросети 330 кВ, тонкая линия — электросети 110 кВ; расположение показано условно-приближенно)

Конструирование визуально-символьных высказываний о положении ресурсов (ситуации на ресурсах, р-ситуации).

Определение 7. Р-ситуация (ситуация на ресурсах) — множество пространственных отношений на ресурсах, используемых в производственных операциях в данный момент времени и в контексте пространственной структуры объекта управления.

Положение (англ. position) — характеристика пространственного отношения одно из элементов объекта к другим элементам в пределах какой-то области. На графическом рисунке положение обычно показывается в схеме связанных элементов, например в схеме улиц и кварталов. Положение трактуется как «ситуация на ресурсах», или «р-ситуация».

На рисунке 39 графические высказывания о положении ресурсов (о р-ситуациях) показаны средствами графического интерфейса онлайн-сервиса «Время автобуса» в г. Калининграде (www.bustime.ru).



а *б*

Рис. 39. Графические высказывания:
а — о положении (р-ситуации) — в онлайн-сервисе «Время автобуса» (www.bustime.ru) в г. Калининграде; *б* — пиктограммы для мониторинга метеоусловий (слева направо, сверху вниз): облачно, дождь, температура, облачно, направление ветра, сила ветра ледяной дождь, ясно, гроза, смерч, снег

Мониторинг метеоусловий (погодная р-ситуация) — графические высказывания о погодной р-ситуации могут выполняться пиктограммами (рис. 39) по данным широко представленных в сети Интернет «метеосайтам» в двух аспектах: текущие метеоусловия и прогноз метеоусловий на требуемое число суток.

Символизация и схематизация графических высказываний о ситуации на ресурсах (р-ситуации) для управления в аварийных режимах секционированных электросетей. Символизация и схематизация ситуаций на ресурсах применительно к секционированным электросетям должна наглядно выражать соотношение изменчивости и постоянства, что требует отображения положения как характеристики пространственного отношения одного из ресурсов (динамического) к другим ресурсам (статическим) в пределах какой-то области (также статического ресурса) в некоторый момент времени.

Итак, интерпретируем три составляющие р-ситуации: 1) динамичный ресурс; 2) группа статичных ресурсов; 3) область установления пространственных отношений «ресурс-ресурс» между первыми и вторыми ресурсами. Динамичный ресурс — электроэнергия, характеризующаяся тремя основными параметрами: напряжением (вольты), силой тока (амперы) и мощностью (ватты). Она — объект операции «передача» на расстояние по отношению «ресурс-действие». Статичные ресурсы — это электрические сети — устройства, установки — средства передачи электроэнергии — характеризуются основным параметром — пропускной способностью. Они средства передачи электроэнергии на расстояние по отношению «ресурс-действие». В общем случае ЛЭП следует рассматривать как объект с распределенными вдоль одной пространственной координаты параметрами (вдоль линии). Один из главных показателей энергопередачи — мощность передачи — количество передаваемой энергии в единицу времени. Пропускная способность электропередачи — наибольшая мощность, которую с учетом всех технических ограничений можно передать по линии. Например, для линии 110 кВ пропускная способность составляет 30 МВт. Электросети характеризуются по ряду показателей, к которым в первую очередь относятся величины передаваемой мощности, номинального напряжения, функциональное значение и дальность передачи, конфигурация (топология) сети.

Область пространственных отношений «ресурс-ресурс» — место (англ. region, place) — часть пространства, занимаемого ресурсом в его естественном окружении. Это может быть физическое место, показывается в связи с естественными характеристиками самого места и его ближайшего окружения (например, рис. 37, см. с. 59). Это может быть формализованное место, показывающее структурный характер места с точки зрения его существенных характеристик с заменой естественных свойств упрощенной формой, которая не воспроизводит точный образ ресурса, а дает его обобщение. Это случай, когда техническая ясность важнее зрительно воспринимаемой реальности.

На рисунке 40 изображено графическое высказывание о ресурсе «секция воздушной линии электропередачи».

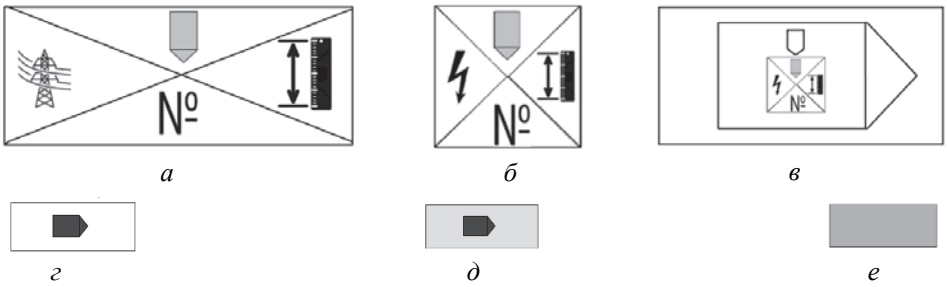


Рис. 40. Графические высказывания:
а — о ресурсе «секция воздушной линии электропередач»; *б* — о ресурсе «электроэнергия»; *в* — о ролевом визуальном отношении «ресурс-действие», где ресурс «секция воздушной линии электропередач» и действие — «передача электроэнергии» показаны упрощенно; *г* — «секция воздушной линии электропередач — средство передачи электроэнергии»; *д* — «секция воздушной линии электропередач, как средство передачи электроэнергии под нагрузкой (запитана)»; *е* — «секция воздушной линии электропередач, как средство передачи электроэнергии обесточена»

Конструирование сложных графических высказываний «секция воздушной линии электропередач — средство передачи электроэнергии, контактно соединяющая трансформатор и реклоузер, запитана» и «ответвление, состоящее из двух секций воздушной линии электропередач, предназначенное для передачи электроэнергии, запитано» представлено на рисунке 41.

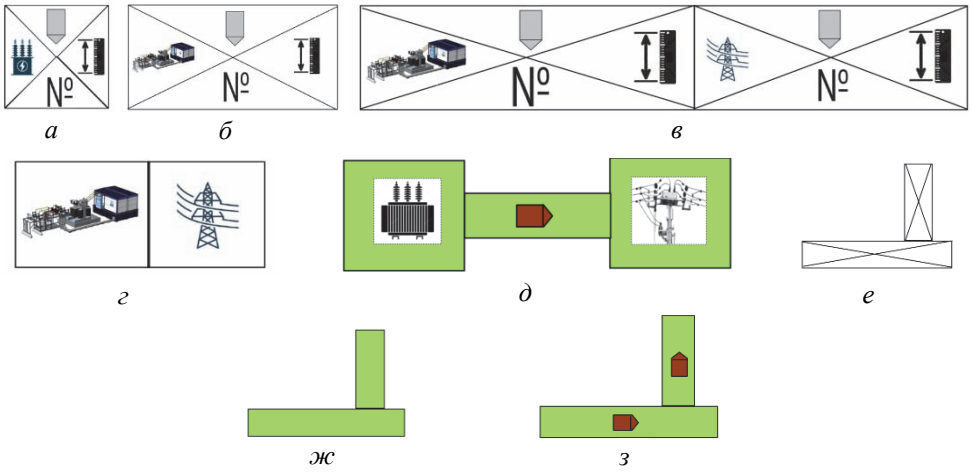
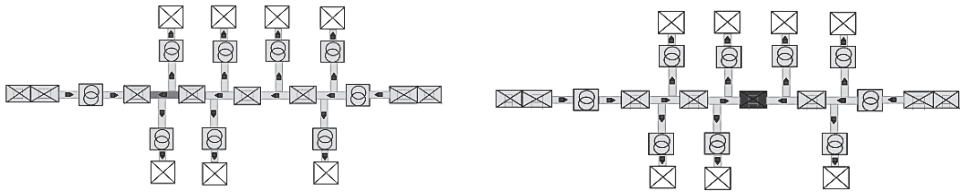


Рис. 41. Графические высказывания:
а — о ресурсе «трансформатор»; *б* — о ресурсе «подстанция»; *в* — о ролевом визуальном отношении «ресурс-ресурс» («контактное соединение»); *г* — «контактное соединение» изображено упрощенно; *д* — два ролевых визуальных отношения «ресурс-ресурс» формируют составное графическое высказывание «секция воздушной линии электропередач — средство передачи электроэнергии, контактно соединяющая трансформатор и реклоузер, запитана»; *е* — о ролевом визуальном отношении «ресурс-ресурс» («ответвление», «отпайка»); *ж* — «ответвление, состоящее из двух секций воздушной линии электропередач, запитано»; *з* — «ответвление, состоящее из двух секций воздушной линии электропередач, предназначенное для передачи электроэнергии, запитано»

На рисунке 42, *а* показано сложное графическое высказывание о р-ситуации «нормальный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР отключен». На рисунке 42, *б* — ролевое визуальное отношение «ресурс-ресурс». Роль слева занимает сложное графическое высказывание о ресурсе «аварийный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР включен».



а *б*

Рис. 42. Графические высказывания о р-ситуации:
а — «нормальный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР отключен»;
б — «аварийный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР включен»

На рисунке 43 изображено ролевое визуальное отношение «ресурс-ресурс». Роль слева занимает сложное графическое высказывание о ресурсе «нормальный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР отключен», а роль справа занимает графическое высказывание о месте расположения ресурса «нормальный режим передачи электроэнергии, ресурс АВР отключен».

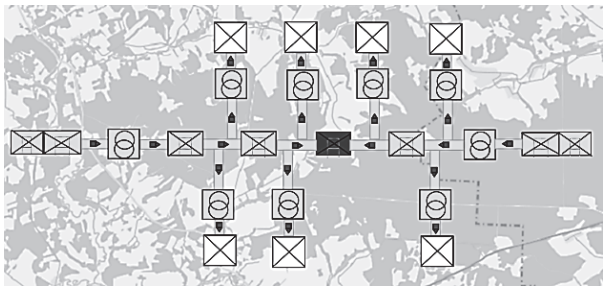


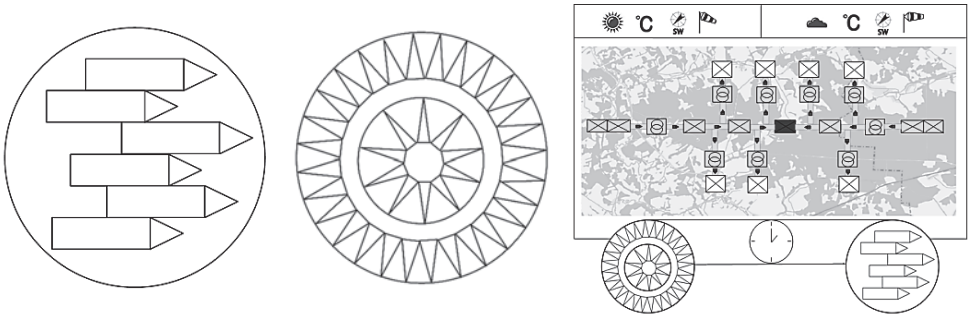
Рис. 43. Графическое высказывание о р-ситуации
«нормальный режим передачи электроэнергии» и ее месте (показано условно)

Конструирование визуально-символьных высказываний об одновременно выполняемых действиях (ситуации на операциях, о-ситуации).

Определение 8. О-ситуация (ситуация на операциях) — отношение «одновременно» на множество операций с ресурсами объекта управления в данный момент времени в контексте производственной структуры (процесса) объекта управления. Поскольку сценарий операции — план, формирующий текущую р-ситуацию, то о-ситуация определяет и р-ситуацию.

Графическое высказывание о ролевом визуальном отношении «действие-действие» («быть одновременно») показано на рисунке 44, *а*. Поскольку это отношение объектов внутреннего мира экспертов, оно изображено в окружности. Понимание символа «о-ситуация» предполагает образное представле-

ние временной шкалы и вертикальной линии-отметки на этой шкале, символизирующей текущее время и пересекающей все действия, выполняемые в объекте управления одномоментно. При этом левая сторона прямоугольника-действия символизирует фактическое время начала действия, а правая вершина треугольника-действия — планируемое (предполагаемое) время окончания действия.



а *б* *в*

Рис. 44. Сложные графические высказывания:
а — о ролевом визуальном отношении «действие-действие» («быть одновременно»): символы действий не детализированы; *б* — о существенных для решаемой в момент *t* задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов (ролевые визуальные отношения «свойство-ресурс»); *в* — о состоянии объекта визуального управления в момент времени *t*

Попадание (отнесение) действия в графическое высказывание об о-ситуации вычисляется следующим образом. Символ действия размещается в графическом высказывании, если фактическое время начала действия меньше или равно текущему времени и предполагаемое время окончания больше или равно текущему времени. Расположение символов в графическом высказывании упорядочено относительно временной шкалы. По окружности, слева направо можно перемещать небольшое круглое пятно, что будет символизировать течение времени.

Конструирование визуально-символьных высказываний о состоянии объекта визуального управления.

Определение 9. Состояние объекта управления $S(t)$ в момент времени t — совокупность существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и операций, о-ситуаций и р-ситуаций, причем первая рассматривается в контексте производственной структуры, а вторая — в контексте пространственной структуры объекта управления.

Конструирование визуально-символьных высказываний о существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов. Если в р-ситуации акценты сделаны на отображение ролевых пространственных отношений «ресурс-ресурс», то в графическом высказывании на рисунке 44, *б* акценты смещены на ролевые отношения

«свойство-ресурс». Поскольку такое представление относится к внутреннему миру эксперта, то для символизации использованы окружности. Их четыре. Между центральной и внешней по отношению к ней окружности изображены графические высказывания о свойствах статичных ресурсов, имеющихся в графическом высказывании о текущей р-ситуации. При решении задач на фазе контроля, т. е. тогда, когда заданы нормативы на значения этих свойств, выход за пределы нормативов может символизироваться изменением цвета треугольников. В этом случае цвет центральной окружности может символизировать интегрировано либо норму по свойствам, либо степень отклонения свойств статичных ресурсов от нормативных значений.

Между внешней и следующей за ней к центру окружностями изображены графические высказывания о свойствах динамичных ресурсов, имеющихся в графическом высказывании о текущей р-ситуации (динамичных ресурсов, как правило, больше). При решении задач на фазе контроля, т. е. тогда, когда заданы нормативы на значения этих свойств, выход за пределы нормативов может символизироваться изменением цвета треугольников. В этом случае цвет кольца между второй и третьей окружностями от центра может символизировать интегрировано либо норму по свойствам, либо степень отклонения свойств динамичных ресурсов от нормативных значений. Для придания образного характера можно внешней звездчатой фигуре задавать вращение (либо перемещать по внешней окружности небольшое круглое пятно), что будет символизировать ее отношение к свойствам динамичных элементов и течение времени.

На рисунке 44, *в* изображено сложное графическое высказывание о состоянии объекта управления в момент времени *t*, составленное из графического высказывания о совокупности существенных для решаемой в момент *t* задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и операций, а также графических высказываний об о-ситуации и р-ситуации.

Оно состоит из шести графических высказываний. Начнем их рассмотрение сверху, где в двух прямоугольных формах показаны слева направо текущие метеоусловия и прогнозируемые. В центре расположено графическое высказывание о р-ситуации. В нижней части слева находится графическое высказывание о визуально-символьных высказываниях о существенных для решаемой в момент *t* задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов (ролевые визуальные отношения «свойство-ресурс»). В нижней правой части находится графическое высказывание об о-ситуации. Область с символом времени «часами» увязывает в единое целое все формы: ситуацию на ресурсах, о параметрах динамических и статичных ресурсах и ситуацию на операциях. Сконструированная форма «состояние объекта управления в момент времени *t* имеет сходство с формой автомобиля».

Конструирование визуально-символьных высказываний в мирах задач и решения задач визуального управления. Рассмотрим конструирование визуально-символьных высказываний о задачах и проблемах визуального управления.

Задача (англ. problem) [46] — психологическая конструкция: 1) условие запуска мыслительного процесса; 2) форма взаимодействия с неопределенностью.

Модель «однородная задача» (англ. homogeneous problem) [3] — объект внутреннего мира субъекта, ментальная конструкция, не содержащая частей (других задач), отличающихся по составу или свойствам, гипотетически не содержащая информации.

Используя введенные базисные символы и ролевые визуальные отношения, построим релевантную ей визуально-символьную модель, релевантную задаче (рис. 45).

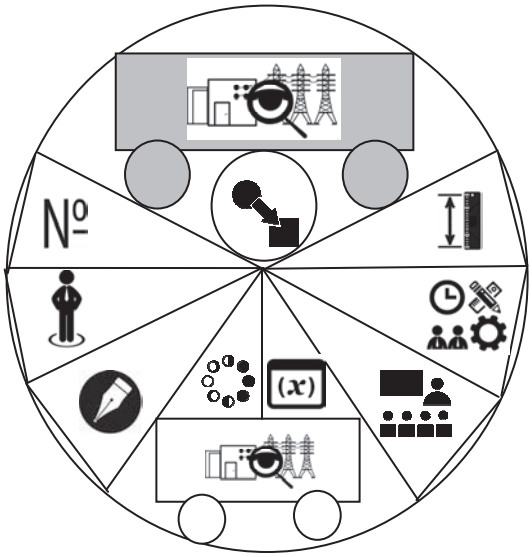


Рис. 45. Визуально-символьная модель задачи

Внешняя окружность символизирует задачу как информацию о внутреннем, субъективном мире эксперта. Она условно разделена на две половины: верхнюю и нижнюю. В верхней половине расположен символ целевого состояния объекта управления (цели), которое должно быть достигнуто решением задачи. На символе цели находится пиктограмма «визуального управления» («с одного взгляда увидеть цель»). В верхней половине окружности, под символом цели размещен символ метода решения задачи — окружность с пиктограммой «преобразование форм», что символизирует визуальное мышление.

Внутри окружности, в нижней ее половине расположены символы свойств задачи, в частности символ текущего состояния объекта управления (исходные данные). На символе текущего состояния также находится пиктограмма «визуального управления» («с одного взгляда увидеть состояние объекта управления в текущий момент времени»). Цель выделена серым фоном, что придает ей больший вес в сравнении с текущим состоянием.

Треугольные формы в нижней половине окружности символизируют слева направо свойства: идентификатор, свойства эксперта, решающего задачу, класс задачи по описанию (вербальная, визуальная), фазу, переменные, свойства среду разработки, свойства проекта.

Таким образом, графическое высказывание «задача» символизирует метод, переводящий объект управления из текущего в целевое состояние, и как ментальную сущность с определенными свойствами.

Проблема (англ. complex problem, ill-structured problem) [46] — затруднительные условия без явно сформулированной цели или четкая цель, не связанная со сложившимися неблагоприятными условиями. Свойства проблемы: отсутствие и необходимость поиска исходной формулировки, комплексное строение, «навязчивый» и сетевой характер, непрозрачность, собственная динамика, «человеческое» измерение, межпредметное содержание.

Термин «проблема» по своему содержанию ближе к категориям обусловленности, причины, а термин «задача» — к категориям результативности, следствия, действия. Писатель-фантаст П. Андерсон говорил, что проблема, сколь бы сложной она не была, становится еще сложнее, если на нее правильно посмотреть [47].

Модель «неоднородная задача» (англ. heterogeneous, inhomogeneous, problem) [3] — объект внутреннего мира субъекта, характеризующийся количественной и качественной различимостью состояния субстанции средствами разума, ментальная конструкция-система из однородных (обслуживающих) задач и репрезентованная отношениями декомпозиции.

В проблемно-структурной (ПС) методологии ФГиИС [3] проблема (задача, релевантная модели «неоднородная задача») замещается своим субъективным аналогом — представлением проблемной ситуации (декомпозицией) — осмысленной, относительно устойчивой, непосредственно данной решателю мыслительной конструкцией, направляющей и упорядочивающей процесс решения [48]. В такой модели совмещается разнообразие информации о ресурсах, времени, целях, ценностях, убеждениях, эмоциях и т. д.), из которых строится проблемная ситуация. В ней подчеркиваются одни моменты и маскируются другие. У экспертов представление проблемы — это связанная и иерархически выстроенная система обслуживающих задач, предопределяющих средства своего решения. Успешность преодоления проблемы зависит от качества системы задач, в которую ее удается коллективно превратить.

Используя введенные базисные символы, ролевые визуальные отношения, сконструируем ее образно-символьную визуальную модель (рис. 46). Основная идея — представление информации о ментальной, субъективной сущности символом «окружность» сохранена. Тем не менее она претерпела и изменения: форма окружности заменена на овальную форму, а сплошная линия стала пунктирной. Обе трансформации графической информации символизируют отсутствие у проблемы исходной формулировки, ее нечеткость,

неясность, туманность, скрытый от взгляда как управленца, так и разработчика визуального управления характер. Овальная форма ближе к известному из [49] метафорическому прообразу проблемы «айсбергу».

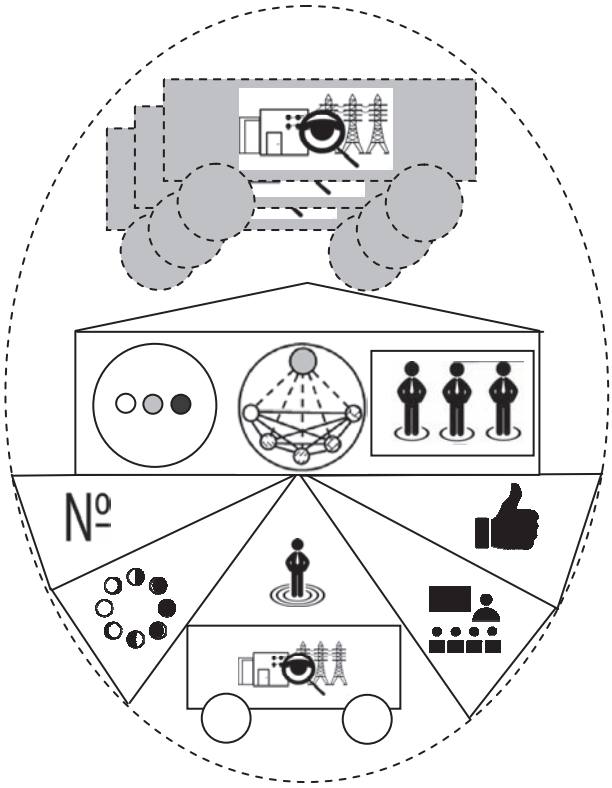


Рис. 46. Визуально-символьная модель проблемы

Обратим внимание на то, что под символом многоцелевого характера проблемы не расположен символ метода ее решения (а на визуально-символьном представлении задачи он есть, рис. 45). Это символизирует то обстоятельство, что у проблемы нет и не может быть одного-единственного, известного метода решения, а он должен быть сконструирован из имеющегося в коллективе разработчиков набора инструментальных средств. Это визуально отображает междисциплинарный характер проблемы. Поэтому символ окружности-метода на рисунке 46 заменен символом действия-стрелки, символизирующим коллективные усилия по динамичному, ситуативному конструированию метода решения проблемы. В «ресурсной» части стрелки слева направо есть три символа: 1) символ разнообразия информации о задачном составе проблемы — «окружность с тремя разноцветными кругами внутри»; 2) символ разнообразия информации о структуре проблемы, системе, обслуживающих ее задач — «окружность с декомпозицией проблемы»; 3) символ разнообразия информации о группе экспертов, участвующих в коллективном

решении проблемы — «прямоугольник с пиктограммой группы экспертов, каждый из которых стоит на символе-задаче из состава проблемы и порученной ему для рассмотрения лицом, принимающим решение». Таким образом, содержание стрелки символизирует два ментальных образа проблемы: «состав» и «декомпозицию» и ресурс внешнего мира — «группу экспертов», комплексное строение, сетевой характер, собственную динамику, междисциплинарность, человеческое измерение. Все эти образы имеют самое непосредственное отношение к динамичному, ситуативному конструированию метода решения проблемы.

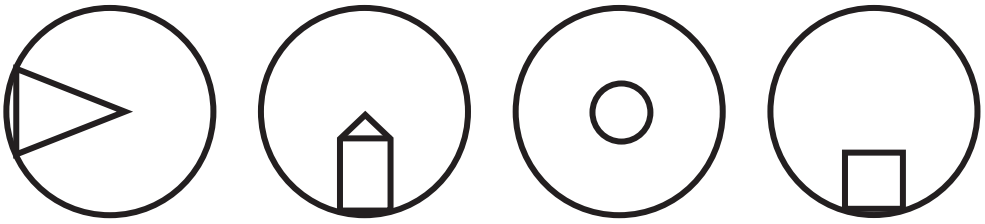
В нижней половине овальной формы расположены символы свойств проблемы, в частности символ текущего состояния объекта управления (исходные данные). На символе текущего состояния также расположена пиктограмма «визуального управления» («с одного взгляда увидеть состояние объекта управления в текущий момент времени»).

Треугольные формы в нижней половине окружности символизируют слева направо свойства: идентификатор, фазу управления, человеческое измерение, свойства лица, принимающего решения в группе экспертов, свойства среды разработки и эвалюэйтер, содержащий оценки результатов выполнения операций по преодолению проблемы и оценок результатов решения экспертами обслуживающих задач.

Следовательно, графическое высказывание «проблема» символизирует в визуальном управлении: разнообразие информации о проблеме, ее специфических свойствах, коллективный характер решателя и его действиях по решению проблемы. Кроме этого содержание символа «проблема» может быть интерпретировано и для моделирования систем визуального управления методами функциональных гибридных интеллектуальных систем с гетерогенным вербально-словесным и визуально-символьным модельным полем.

Конструирование визуально-символьных высказываний в мире методов визуального управления. В ФГиИС объекты-прототипы (методы) комбинируются крупно- и мелкозернистой гибридизацией [3]. В первой метод — ресурс разработчика для деятельности по решению задачи и обладающий отличительными свойствами. Отношения метода к задачам, свойствам и действиям — фенотип метода [3]. Во второй методы — отношения трех частей: 1) схемы-модели, 2) языка ее описания и 3) процедуры (алгоритма) поиска (получения) решений на модели. Схема — концептуальное описание в некоторой теории (например, «система массового обслуживания», «операция», «игра»). Язык описания модели (язык) включает базовые и производные от них знаки, имеет грамматику. Процедура решений на модели (процедура), деятельностная, алгоритмическая составляющая, реализующая путь к результату и формирующая разнообразие методов.

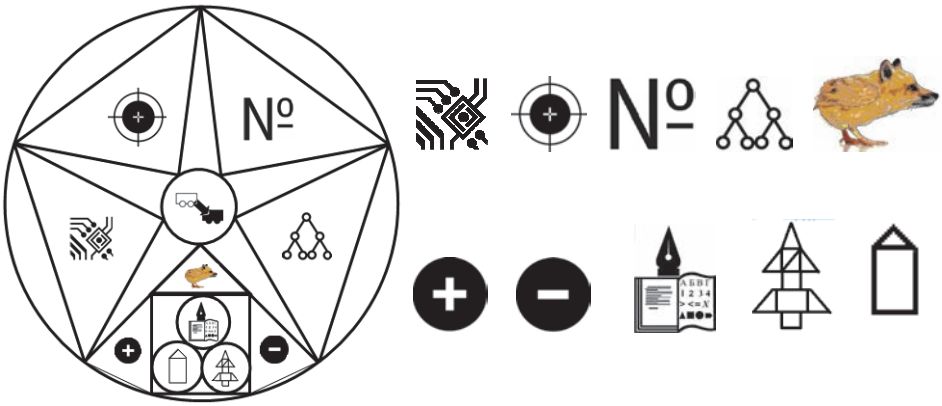
Приступая к конструированию визуально-символьной модели субъективного объекта «метод», рассмотрим формообразование ролевых визуальных отношений «метод-свойство», «метод-действие», «метод-задача», «метод-ресурс» (рис. 47).



а *б* *в* *г*

Рис. 47. Ролевые визуальные отношения:
а — «метод-свойство»; *б* — «метод-действие»; *в* — «метод-задача»; *г* — «метод-ресурс»

Все эти отношения можно увидеть на визуально-символьной модели метода (рис. 48). Основу целостности фигуры-образа составляет ролевое визуальное отношение «метод-задача» (рис. 47, *в*). Задача символизирована окружностью с соответствующей пиктограммой «состояние-состояние», аналогичной пиктограмме на рисунке 45. В эту фигуру «вписаны» (интегрированы) пять ролевых визуальных отношений «метод-свойство». Двумя вершинами треугольники-свойства касаются внешней окружности, а одной — внутренней окружности — символа задачи. Такое количественное взвешивание связи характеризует направление ролевого визуального отношения — «от метода к задаче». Внутри четырех из пяти треугольников изображены пиктограммы для «раскрытия» смысла символов свойства (рис. 49).



а *б*

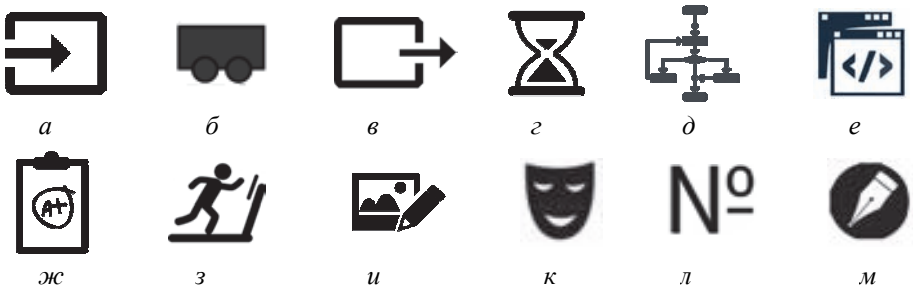
Рис. 48. Визуально-символьная модель метода и символы-пиктограммы для ее конструирования:
а — визуально-символьная модель метода; *б* — символы-пиктограммы для конструирования визуально-символьного образа метода: фенотипической части (слева направо и сверху вниз): схема-модель; погрешность решения; спецификатор; классификатор; гибридные возможности («цыплис» — символ гибридов); преимущества (плюсы); недостатки (минусы); генотипической части (слава направо): язык описания; модель; процедура

Нижняя, пятая часть — пятиугольник, образованный сторонами трех треугольников и квадрата. Три треугольника символизируют три свойства метода на уровне фенотипа — гибридные возможности, плюсы и минусы. Квадрат, вписанный в пятиугольник, символизирует внутренний, гентотипический ресурс (ролевое визуальное отношение «метод-ресурс» (рис. 47, *г*) метода. Этот ресурс включает три составляющих его как единого целого: язык описания, модель и процедуру.

На изображении символа «метод» есть «негативные пространства» [9]. Если их «разглядеть», то можно обнаружить остроконечную пятиконечную звезду, а также символ действия — стрелку (ролевое визуальное отношение «метод-действие», рис. 47, *б*).

Конструирование визуально-символьных высказываний в мире моделирования визуального управления. Рассмотрим конструирование визуально-символьных высказываний «элемент ФГиИС», «гетерогенное модельное поле», «интегрированный метод», «интегрированная модель», «функциональная гибридная интеллектуальная система».

Элемент ФГиИС, моделируя решение обслуживающей задачи или выполняя вспомогательные операции, построен некоторым методом и имеет свойства. Символы-пиктограммы для конструирования визуально-символьного образа элемента ФГиИС и ФГиИС изображены на рисунке 49.



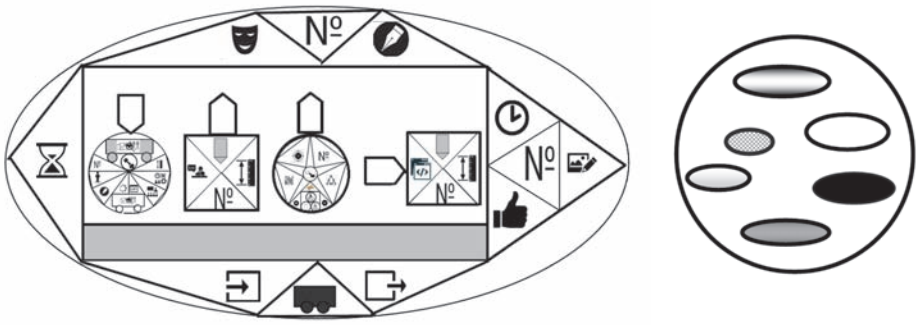
а *б* *в* *г* *д* *е*

ж *з* *и* *к* *л* *м*

Рис. 49. Символы-пиктограммы, используемые для конструирования визуально-символьного образа элемента ФГиИС:
а — свойство «вход»; *б* — свойство «состояние»; *в* — свойство «выход»;
г — свойство «величина задержки»; *д* — ресурс «алгоритм»; *е* — ресурс «программа»;
ж — методологический аспект «тестирование»; *з* — методологический аспект «имитация»;
и — методологический аспект «конструирование»; *к* — ролевой аспект: «функциональный», «технологический», «координирующий»; *л* — идентификатор;
м — класс по описанию: «вербальный», «визуальный»

Визуально-символьная модель элемента ФГиИС показана на рисунке 50. Центральное положение в ней занимает ролевое визуальное отношение «элемент-действие». Оно отображено комбинацией овала и вписанной в него стрелки, что акцентирует деятельностный подход к представлению частей ФГиИС. Рассмотрим «прямоугольную, ресурсную составляющую» стрелки. Она включает пять ролевых визуальных отношений: «действие-объект»,

«действие-субъект», «действие-средство», «действие-результат» и «действие-место», последнее из них не специфицировано. Ролевую визуальную позицию «объект» в отношении «действие-объект» занимает визуально-символьная модель «задача» (рис. 45, см. с. 66). Следующее слева направо положение занимает ролевое визуальное отношение «действие-субъект», его правую роль исполняет ресурс-разработчик (человеческий фактор, модельер), в качестве инструмента-средства владеющий и использующий соответствующий метод (отношение «действие-средство»). Роль результата в ролевом визуальном отношении «действие-результат» исполняет ресурс «программа».



а *б*

Рис. 50. Визуально-символьные модели:
а — элемента ФГиИС; *б* — гетерогенного модельного поля

По периферии прямоугольной формы расположены треугольные формы, символизирующие свойства элемента ФГиИС (без треугольной части стрелки их семь). Наибольший визуальный вес отдан трем треугольникам, примыкающим к нижней широкой стороне прямоугольника и визуально связанных и с овалом. Они символизируют три ролевых визуальных отношения «элемент-свойство» (слева направо): «элемент-вход» , элемент-состояние» и «элемент-выход». Остальные треугольные формы позволяют увидеть свойства, смысл которых выражен соответствующими пиктограммами.

Последняя часть визуально-символьного образа элемента ФГиИС — «треугольная часть-форма» стрелки. Выражаемое ей содержание ничем не отличается от стандартного для действия (рис. 24, см. с. 51). Использованная здесь пиктограмма (рис. 49, *и*) раскрывает методологический аспект действия, указывая на то, что элемент ФГиИС конструируется.

Гетерогенное модельное поле (ГМП) и ГВП состоят из элементов — ресурсов ФГиИС для моделирования решения обслуживающих проблему задач. Элементы из ГМП — знаки решения вербальных обслуживающих задач из декомпозиции проблемы. Элементы из ГВП — образы решения графических задач из декомпозиции проблемы. Возможен вариант, когда одна и та же задача решается элементами из разных полей, а также имеет несколько элементов в каждом поле: ГМП и ГВП могут быть функционально избыточными.

На рисунке 50, *б* изображена визуально-символьная модель гетерогенного модельного поля. Как показано на рисунке 50, *б*, символ ГМП — окружность, внутри которой овалами разного размера и разной штриховки продемонстрированы элементы ФГиИС. По сути, эта модель позволяет увидеть и исследовать ролевое визуальное отношение «иметь в своем составе» и оценить, насколько разнородна информация о проблеме представлена во ФГиИС.

На рисунке 51 приведена трансформация визуально-символьной информации в ходе конструирования визуального высказывания о интегрированном методе. На рисунке 51, *а*, *б* изображены символы двух методов-родителей. Отличия показаны разными цветами пяти треугольных форм. На рисунке 51, *в* — визуальное высказывание о потомке своих родителей — интегрированном методе. Здесь же выделена область конструирования, на содержании которой будет сконцентрировано внимание ниже. На рисунке 51, *г* генотипическая часть формы метода-потомка дана увеличено. На ней выделена форма «процедура», которая в дальнейшем будет подвергнута реконструированию. «Процедура» поиска решений на модели — составная часть генотипа метода, на рисунке 51, *д* изображена крупно. Увеличенная форма «процедура» метода-потомка акцентировано отображает последовательность действий (вычислительный процесс). На форме светло-серым цветом выделено изменяемое действие. Качество его выполнения разработчика ФГиИС визуального управления по каким-либо причинам не устраивает, и он хочет решить технологическую задачу о замене некачественного метода выполнения действия на другой (например, метод-родитель №2). На рисунке 51, *е* показано отдельно, а на рисунке 51, *г* приведена сконструированная форма действия укрупненно. По сути, это форма действия из формы «процедура» генотипической части метода-потомка с исправленной правой ролью ролевого визуального отношения «действие-средство».

В правой части ролевого визуального отношения «действие-объект» изображена форма «технологическая задача». Субъект действия — разработчик (модельер). Средство действия — метод родитель №2, что показано аналогичным цветом. Результат действия — программа.

Подобное конструирование в методологии ФГиИС названо мелкозернистой гибридизацией.

На рисунке 52 изображены фрагменты: пиктограммы и ролевого визуального отношения «действие-свойство», примененные для конструирования формы «интегрированный метод».

Остановимся на последнем (рис. 52, *г*), поскольку отношения этого класса использованы и для конструирования визуально-символьной модели ФГиИС. Это сложная форма, состоящая их нескольких визуальных отношений. Прежде всего выделим два ролевых визуальных отношения «свойство-ресурс» (треугольник слева символизирует свойство «выход», а прямоугольная форма внутри треугольника — ресурс «элемент ФГиИС»). Аналогично построено и второе отношение, символизирующее «свойство вход элемента ФГиИС». Сомкнутые основания формы ролевых визуальных отношений «свойство-ресурс» означают установленную связь выхода одного элемента ФГиИС со

входом другого элемента ФГиИС. Отношение «действие-свойство» изображает выполнение некоторого действия, например обмена информацией между элементами ФГиИС после того, как связь установлена.

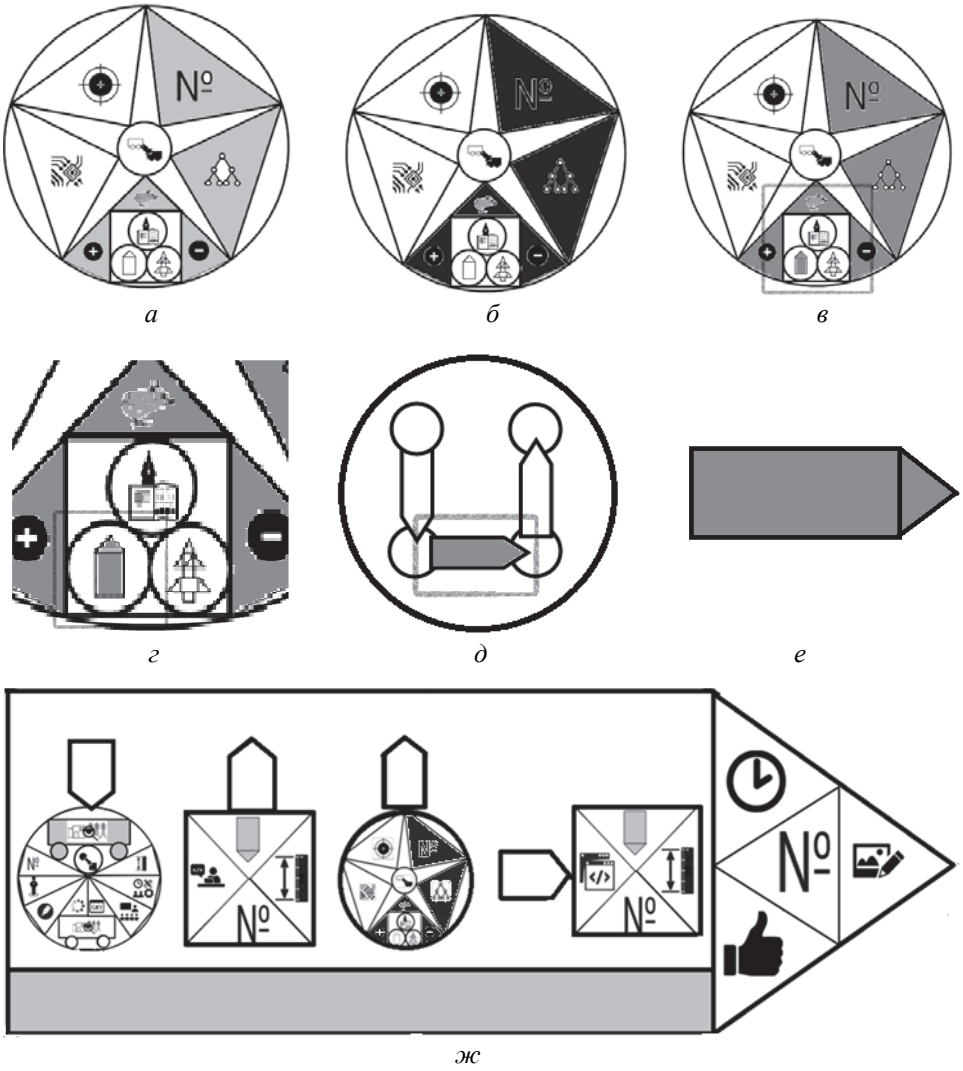
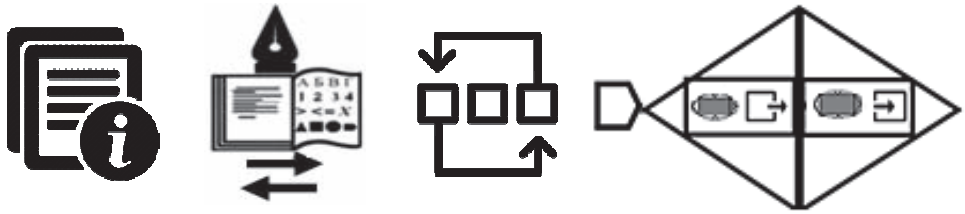


Рис. 51. Трансформация визуально-символьной информации в ходе конструирования интегрированного метода:
а — родительский метод № 1; *б* — родительский метод № 2; *в* — интегрированный метод-потомок; *г* — увеличенная генотипическая часть формы метода-потомка; *д* — увеличенная форма «процедура» метода-потомка с акцентированным отображением последовательности действий (вычислительного процесса); *е* — акцентированная форма модифицируемого действия в процедуре метода-потомка; *ж* — увеличенная форма действия из формы «процедура» генотипической части метода-потомка с исправленной правой ролью ролевого визуального отношения «действие-средство»

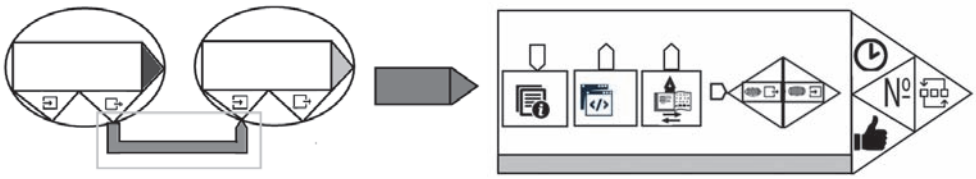


а *б* *в* *г*

Рис. 52. Фрагменты визуально-символьной формы «интегрированная модель»:
а — пиктограмма «информация»; *б* — пиктограмма «межмодельный интерфейс»;
в — пиктограмма «внутри машинный обмен данными» (коммуникация);
г — ролевое визуальное отношение «действие-свойство»

На рисунке 53 показана трансформация визуальной информации при конструировании визуально-символьной интегрированной модели. На рисунке 53, *а* приведены упрощенные формы двух различных (что акцентировано разными отенками заливки треугольной части «свойства» действия) элемента ФГиИС. Между формами элементов установлено ролевое визуальное отношение — действие обмена информацией. Точнее — отношение связывает треугольную форму свойства «выход» левого элемента (начало стрелки) и треугольную форму свойства «вход» правого элемента (этой треугольной формы касается конец стрелки). Здесь же серым прямоугольником акцент исследования смещается на коммуникационное действие-стрелку (рис. 53, *б*).

На рисунке 53, *в* действие-стрелка дана увеличено, что позволяет детально как конструировать это действие, так и, в случае необходимости, исследовать его проблематику. Прямоугольная форма — часть действия — включает пять ролевых визуальных отношений (отношение «действие-место» не специфицировано). Слева направо, первое отношение «действие-объект» визуализирует высказывание «информация — объект внутримашинного обмена данными». Следующие два ролевых визуальных отношения — «действие-средство». Показано такое средство-ресурс: «программа межмодельного интерфейса». Последнее ролевое визуальное отношение рассмотрено выше и позволяет дифференцированно конструировать и исследовать связи элементов ФГиИС. Такое конструирование в методологии ФГиИС названо крупнозернистой гибридизацией.



а *б* *в*

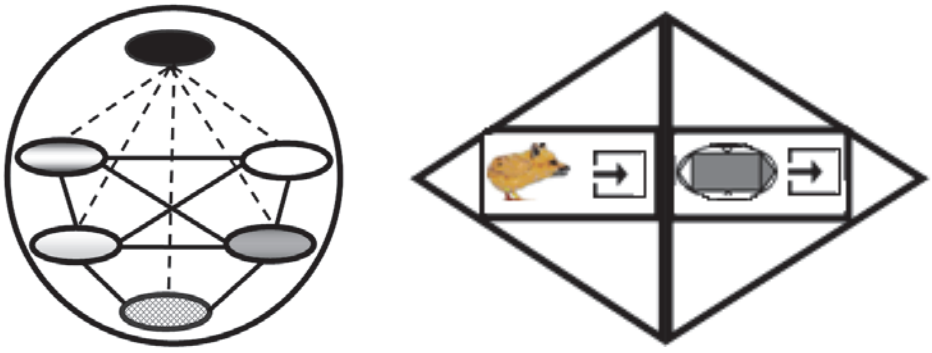
Рис. 53. Трансформация визуальной информации при конструировании визуально-символьной интегрированной модели: упрощенное изображение двух различных форм «элемент ФГиИС» и связывающая их форма-стрелка «действие»

На рисунке 54 изображены пиктограммы, использованные при конструировании ФГиИС визуального управления.

а *б* *в* *г* *д*

Рис. 54. Пиктограммы-фрагменты визуально-символьной модели ФГиИС, обозначающие: *а* — пользователя ФГиИС (преодоление проблемы-барьера); *б* — методологический аспект — «имитация»; *в* — методологический аспект «конструирование»; *г* — коллектив экспертов под руководством ЛПР, чья деятельность моделируется ФГиИС; *д* — символ гибридных интеллектуальных систем — «цыплис»

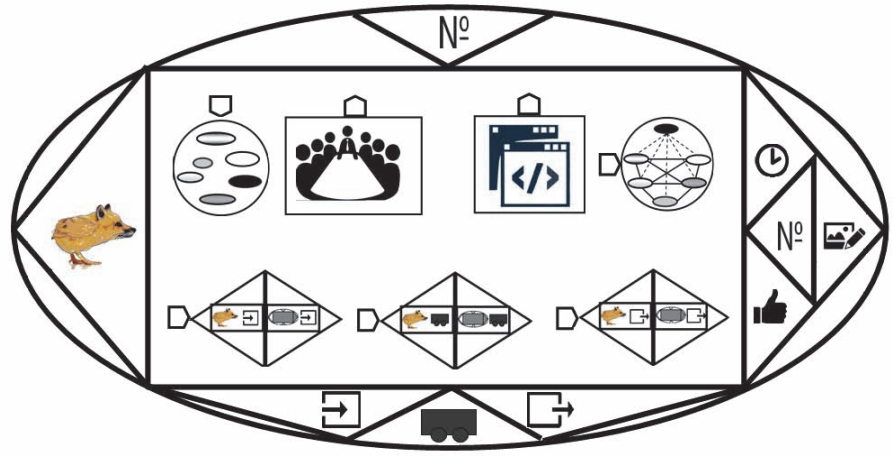
Графические высказывания, фрагменты визуально-символьного образа ФГиИС показаны укрупненно на рисунке 55. На рисунке 55, *а* — визуально-символьная модель «архитектура ФГиИС», играющая ключевую роль в конструировании ФГиИС визуального управления. Этот образ символизирует систему элементов ФГиИС, выбранных из гетерогенного модельного поля и связанных визуальными отношениями. Насколько этот образ будет релевантен декомпозиции проблемы (рис. 46, см. с. 68), настолько качественно будет и решение проблемы. Смысл еще трех фрагментов был раскрыт по ходу рассмотрения формы «интегрированная модель» (рис. 53).



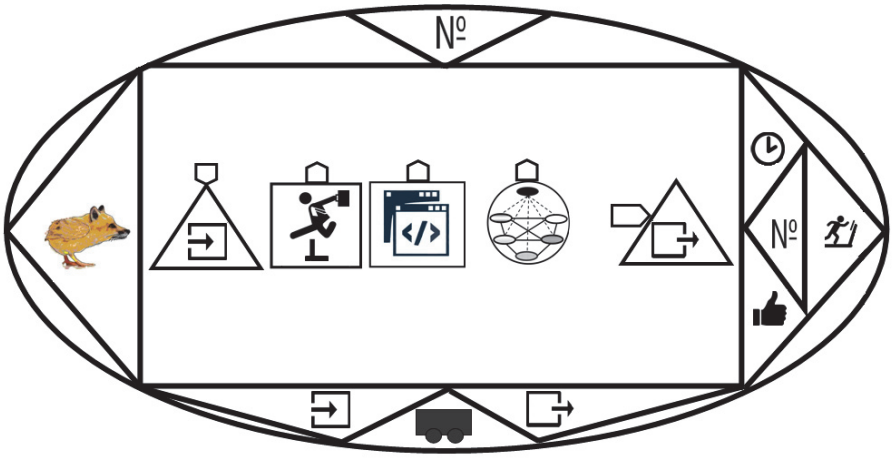
а *б*

Рис. 55. Графические высказывания, фрагменты визуально-символьного образа ФГиИС, изображенные укрупненно: *а* — визуально-символьная модель «архитектура ФГиИС»; *б* — ролевое визуальное отношение «свойство-свойство»: «вход ФГиИС — вход элемента ФГиИС»; *в* — «состояние ФГиИС — состояние элемента ФГиИС», «выход ФГиИС — выход элемента ФГиИС»

На рисунке 56, *а* изображена визуально-символьная модель ФГиИС визуального управления. Для раскрытия семантики ФГиИС использован деятельностный подход, аналогичный формообразованию элемента ФГиИС.



а



б

Рис. 56. Визуально-символьная модель
функциональной гибридной интеллектуальной системы:
а — методологический аспект — «конструирование»;
б — методологический аспект — «имитация»

По периферии прямоугольной формы расположены треугольные формы, символизирующие свойства ФГиИС (без треугольной части стрелки их пять). Наибольший визуальный вес отдан трем треугольникам, примыкающим к нижней широкой стороне прямоугольника и визуально связанных и с овалом. Они символизируют три ролевых визуальных отношения «агрегат-свойство» (слева направо): «агрегат-вход», агрегат-состояние» и «агрегат-выход». Остальные треугольные формы позволяют увидеть свойства, смысл которых выражен соответствующими пиктограммами.

Последняя часть визуально-символьного образа элемента ФГиИС — «треугольная часть-форма» стрелки. Выражаемое ей содержание ничем не отличается от стандартного для действия. Использованная здесь пиктограмма (рис. 54, *в*) раскрывает методологический аспект действия, указывая на то, что ФГиИС конструируется.

На рисунке 56, *б* символизацией раскрыт методологический аспект ФГиИС — «имитация», в ходе которой ФГиИС преобразует свойство «вход» в свойство «выход», что отображено соответствующими ролевыми визуальными отношениями.

Заключение

В докладе рассмотрены первые результаты Калининградской школы искусственного интеллекта на пути «восхождения» к символу функциональных гибридных интеллектуальных систем: изображения объектов-оригиналов, объектов-прототипов и объектов-результатов ПС-методологии на языке символов и схем.

Символизация объектов-оригиналов наиболее полно воссоздает проблемные ситуации и качественно лучше воспринимается человеком — опора анализа и конструирования нового, сложного. Рисование, а потом понимание и разумное осознание проблемы, методами активации правополушарного режима мышления, гармонизацией бесформенного, попытками увидеть неопределенный контекст проблемной ситуации — условие внезапных решений.

Символизация объектов-прототипов выражает общее, абстрактное, недоступное созерцанию, помогает видеть целостное в явлениях, оформляет зарождающиеся у человека идеи, придает абстрактному чувственную форму, делает видимым носитель действий-операций, конструкцию, зависящую от «воли» конструктора, результат воображения. Дает инструмент видения идей своих создателей. Позволяет рассматривать объект визуального управления как в совокупности, так и в отдельности за счет комбинирования логико-математических и визуально-пространственных представления, что даст более полную картину наблюдения за объектом. Используется для выявления новых содержаний и освобождения от случайного.

Символизация объектов-результатов делает ясными, прозрачными и понятными идеи Калининградской школы о ФГиИС — схеме переработки информации о проблемных ситуациях в разрешающие проблемы рекомендации, контрастирующей цель гибридизации и схематизирующей путь «корабля» к долгожданной «гавани». Информация о ФГиИС систематизирована и структурирована, содержит порождающий принцип. Открывается путь и для разработки параллельного механизма реализации гибридных стратегий за счет мгновенного, скачкообразного возбуждения совокупности концептов многоуровневого информационного языка гетерогенного модельного поля по актуализации в многоуровневом визуальном языке визуального образа сложившейся ситуации. При этом возникают гибридные, комплексные ориентиры, направляющие поиск решений в искусственном интеллекте.

Функциональные гибридные интеллектуальные системы существенно снизят нагрузку на операторов визуального управления, поскольку визуально-пространственное мышление отображает в сознании окружающий мир в той полноте, которая характерна для человека, когда достаточно одного взгляда для понимания условий возникновения проблемной ситуации в объекте управления и оценки степени риска сохранения ненормативного поведения.

Список литературы

1. *Венда В. Ф.* Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М. : Машиностроение, 1990.

2. *Гарднер Г.* Структура разума: теория множественного интеллекта. М. : ООО «Изд. дом Вильямс», 2007.

3. *Колесников А. В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / под ред. А. М. Яшина. СПб. : СПбГТУ, 2001.

4. *Колесников А. В., Кириков И. А.* Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.

5. *Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. и др.* Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / под ред. А. В. Колесникова. М. : ИПИ РАН, 2011.

6. *Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В.* Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН, 2014.

7. *Колесников А. В., Листопад С. В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016.

8. *Григорьева Т. П.* Синергетика и Восток // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 90—102.

9. *Эдвардс Б.* Ты — художник! Минск : Попурри, 2010.

10. *Мамардашвили М. К., Пятигорский А. М.* Символ и сознание. М. : Школа «Языки русской культуры», 1997.

11. *Голосовкер Я. Э.* «Логика мифа». М. : Наука. Гл. редакция восточной литературы издательства, 1987.

12. *Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. М. : Мысль, 1959.

13. *Ребане Я. К.* Информация и социальная память: к проблеме социальной детерминации познания // Вопросы философии. 1982. № 8. С. 47—52.

14. *Попов В. П., Крайнюченко И. В.* Глобальный эволюционизм и синергетика ноосферы. Ростов н/Д : Изд-во АПСН СКВЦ ВШ, 2003.

15. *Серяков М. Л.* Рождение великой державы. М. : Вече, 2017.

16. *Пузанов В. В.* Древнерусская государственность: генезис, этнокультурная среда, идеологические конструкты. Ижевск : Издательский дом «Удмуртский университет», 2007.

17. *Щедровицкий Г. П.* Мышление — Понимание — Рефлексия. М. : Наследие ММК, 2005.

18. *Анисимов О. С.* Рефлексия и методология. М., 2007.

19. *Вертгеймер М.* Продуктивное мышление / пер. с англ. и общ. ред. С.Ф. Горбова и В.П. Зинченко. М. : Прогресс, 1987.

20. *Ямпольский М.* О близком (Очерки немиметического зрения). М. : Новое литературное обозрение, 2001.

21. *Водолажская Т., Егоров А.* Организационно-деятельностные игры. Популярное введение. Минск : И.П. Логинов, 2008.

22. *Попов С.В.* Организационно-деятельностные игры: мышление в зоне риска. URL: http://www.circleplus.ru/archive/n/12/3/print.

23. *Боно Э.* Латеральное мышление : учебник творческого мышления. Минск : Поппури, 2005.

24. *Боно Э.* Шесть шляп мышления. СПб. : Питер Паблишинг, 1997.

25. Журнал sitella. Альбом Надежды. URL: https://sitella.livejournal.com.

26. *Жинкин Н.И.* Речь как проводник информации. М.,1982.

27. *Подорога В.* Феноменология тела. Введение в философскую антропологию. М. : Ad Marginem, 1995

28. *Боумен У.* Графическое представление информации. М. : МИР, 1971.

29. *Arnheim R.* Visual thinking. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1969.

30. Брачелли, Джованни Баттиста. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Брачелли_Джованни_Баттиста.

31. Устный счет по математике для 3 класса. УМК Гармония. URL: https://infourok.ru/ustniy-schet-dlya-klassa-umk-garmoniya-808208.html

32. *Тайити Оно* Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства. М. : ИКСИ, 2006.

33. *Сиббет Д.* Увидеть решение: Визуальные методы управления бизнесом. М. : Альпина Паблишер, 2016.

34. *Степченко Т.С.* Lean-технологии в управлении предприятием. URL: http://sovman.ru/article/5508/

35. Основные принципы организации эффективного рабочего места сотрудника — 5 S. URL: https://ulgov.ru/docs/20140314-5S-osn.pdf.

36. WAPKOR. Система онлайн визуализации производственных показателей. URL: http://wapkor.ru/.

37. *Утробина И.* Бережливое управление изменениями. URL: lean-tech.slcenter.udsu.ru/files/1327448304.pdf.

38. Визуализация опасных зон на предприятии. URL: https://master-forum.ru/ vizualizatsiya-opasnyh-zon-na-predpriyatii/.

39. Визуальное управление: оперативно и эффективно. URL: http://publicatom.ru/blog/SAES/13746.html

40. TNTv в ситуационных и диспетчерских центрах. URL: http://www.colan.ru/manuals/tnt/SOLUTION/dispatching.pdf.

41. Поиск. URL: http://poisk-company.ru/.

42. НТК Интерфейс. http://iface.ru.

43. *Уёмов А.И.* Вещи, свойства, отношения. М. : Изд-во Ин-та философии АН СССР, 1963.

44. *Колесников А.В., Листопад С.В., Денисова А.С. и др.* Ролевые визуальные модели функциональной гибридной интеллектуальной системы с гетерогенным визуальным полем // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2017. №4. С. 33—52.

45. *Колесников А.В., Листопад С.В., Румовская С.Б. и др.* Неформальная аксиоматическая теория ролевых визуальных моделей // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10, вып. 4. С. 114-120.

46. *Спиридонов В.Ф.* Психология мышления: Решение задач и проблем : учебное пособие. М. : Генезис, 2006.

47. *Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А.* Исследование систем управления : учебное пособие для вузов. М. : Академический Проект, 2003.

48. *Пушкин В.Н.* Оперативное мышление в больших системах. М. : Энергия, 1965.

49. *Самсонова М.В., Ефимов В.В.* Технология и методы коллективного решения проблем : учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2003.

Г.С. Осипов
ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия
e-mail: gos@isa.ru

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОАЛИЦИИ КОГНИТИВНЫХ АГЕНТОВ

Введение

Цель настоящего доклада — демонстрация возможностей знакового формализма в решении тех задач, для которых иные подходы не продемонстрировали таковых. Одна из них — задача динамического распределения ролей агентов в коалиции при решении общей задачи или реализации общего плана. Слово «динамическое» здесь означает, что эти роли заранее никем не заданы и формируются на основе предпочтений агентов, формирующихся в результате деятельности и отражающихся в их личностных смыслах. Слово «роль» использовано для указания функции или действия, которые может реализовать агент и которые могут меняться от задачи к задаче. Для этой цели пришлось уточнить определение знака, семантику его компонент и, в особенности, семантику личностных смыслов. В завершение описан общий алгоритм наделения агентов теми или иными ролями.

1. Знаковая картина мира субъекта поведения

Пусть S^+ — некоторое множество, которое будем называть множеством знаков, $S \subseteq S^+$, где S — множество элементарных знаков, R — семейство бинарных отношений, F — множество функций.

Тогда алгебраическую систему $W = < S^+, R, F>$ будем называть картиной мира субъекта I, если $S = \{<n, p, m, a>\}$ [1], где $s = <n, p, m, a>$ — элементарный знак, $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_8\}$ и для каждого $i = 1, 2, \ldots, 8$, $R_i \subseteq S \times S$; $(i \neq j) \rightarrow$ $\rightarrow (R_i \cap R_j) = \varnothing$; $F = \{F_1, F_2, F_3\}$, где F_1 и F_2 — бинарные операции на S, F_3 — унарная операция на S^+, такие что:

© Осипов Г.С., 2018

$$F_1: S \times S \to S, \text{ так что } F_1(s_1, s_2) \to s_3, \quad (s_1, s_2, s_3\ ) \in S;$$

$$F_2: S \times S \to S, \text{ так что } F_2(s_1, s_2) \to s_3, \quad (s_1, s_2, s_3\ ) \in S;$$

$$F_3: S^+ \to S^+, \text{ так что } F_3(s_1) \to s_2, \quad (s_1, s_2) \in S^+.$$

Функцию $F_3^*(s) = F_3(F_3...(F_3(s))\ldots)$, где $s \in S$, будем называть замыканием на множестве знаков S^+, порожденный ею знак — сценарием, а знак s — опорным знаком сценария.

Поясним сказанное. Элементы множества S — элементарные знаки. Каждый знак имеет имя n, образ p, значение m и личностный смысл a.

На множестве знаков определены отношения из семейства R, порожденные компонентами знаков. Так, образами знаков порождены отношения R_1 — R_4 (отношения эквивалентности, включения, сходства и противопоставления, соответственно); значениями — отношения R_5 (сценарное) и личностными смыслами — отношения R_7, R_8 (поглощения и противопоставления, соответственно) [1].

2. Семантика компонент знака

Уточним теперь семантику компонент знака.

Как уже было сказано, знак $s = <n, p, m, a>$, $n \in N$, где N — множество слов конечной длины в некотором алфавите, которое будем называть множеством имен; $p \in P$, где P — множество замкнутых атомарных формул языка исчисления предикатов первого порядка, которое будем называть множеством свойств; $m \in M$, M будем называть множеством значений; $a \in A$, A — множество личностных смыслов.

Как множество значений M, так и множество личностных смыслов A, поскольку это следует из психологических соображений, можно интерпретировать множеством действий. Отличие личностного смысла от значения состоит главным образом в том, что значение содержит предписываемые культурно-исторической традицией способы использования предмета, личностный смысл же содержит предпочтительные для субъекта способы использования предмета, т. е. предпочтительные действия.

Каждое действие, как в структуре значения, так и в структуре личностного смысла, следуя традиции, принятой в искусственном интеллекте, представим правилом [2]. Напомним, что правилом мы называем упорядоченную тройку множеств: $r = <Con, Add, Del>$, где Con — условие правила; Add — множество фактов, добавляемых правилом r; Del — множество фактов, удаляемых правилом r. Каждое из этих множеств, в общем случае, есть множество атомарных формул исчисления предикатов первого порядка. Атомарные формулы содержат свободные переменные, которые в процессе применения правила заменяются соответствующими значениями из рабочей памяти, превращая формулы со свободными переменными в формулы без таковых, т. е. в факты.

3. Операции F_1, F_2, F_3

Операция F_1 — операция обобщения. F_1 определена на множестве пар знаков, принадлежащих отношению сходства R_3; результатом ее применения является новый образ, включающий все общие признаки исходных образов. А именно, если π — множество образов, $p_1, p_2 \in \pi$, $p_1 = (x_1, x_2, \ldots, x_g)$ и $p_2 = (y_1, y_2, \ldots, y_h)$, то F_1: $\pi \times \pi \to \pi$ так, что для всяких $p_1, p_2 \in \pi$ таких что $(p_1, p_2) \in R_3$, $F_1(p_1, p_2) = p_3$, где $p_3 = (z_1, z_2, \ldots, z_l)$ так, что для $\forall i \exists j,k$ такие, что $z_i = x_j = y_k$. Сформированный в результате обобщения образ может служить основой для формирования нового знака так, как это описано в [1].

Операция замыкания по значениям $F_2(s_1, i_j, s_2)$ служит для формирования нового знака $s^* \in S^+$, который назовем сценарием. Если s_1 — знак со значением $m(s_1)$ и $i_j \in m(s_1)$ — одна из валентностей (ролей) этого значения [2], то операция строит новый знак s_1^*, в котором валентность i_j замещена знаком s_2 (s_2 / i_j). При этом образы, смыслы и значения исходных знаков сохраняются.

Операция агглютинации $F_3(s_1, s_2) = s_3$ — образования нового элементарного знака с личностным смыслом, включающим личностные смыслы исходных знаков s_1 и s_2. Если a_1 и a_2 — личностные смыслы знаков s_1 и s_2 соответственно, то операция агглютинации формирует новый элементарный знак s_3 с личностным смыслом a_3, интерпретируемым правилом $r_3 = <Con_3, Add_3, Del_3>$, где $Add_3 = Add_1 \cup Add_2$ и/или $Del_3 = Del_1 \cup Del_2$. Во всех случаях $Con_3 = Con_1 \cap Con_2$, где Con_i — множества условий правил r_3, r_1 и r_2, Add_i и Del_i — множества фактов, добавляемых и удаляемых соответствующими правилами.

4. Коалиция когнитивных агентов

Пусть теперь I — некоторый интеллектуальный агент, который наряду с требованиями, предъявляемыми к BDI — агентам [3], обладает знаковой картиной мира. Тогда W^I будем называть картиной мира интеллектуального агента I, а сам агент I, обладающий картиной мира W^I — когнитивным агентом.

В основе целенаправленного поведения любого агента лежит план такого поведения. Если G — множество фактов, называемое целевым состоянием, $\sum_0$ — начальное состояние, то планом поведения интеллектуального агента принято называть последовательность состояний $\sum_0, \ldots, \sum_n$, последовательность правил $r_1, \ldots, r_n$ и последовательность подстановок $\theta_1, \ldots, \theta_n$, таких, что G выполнима в $\sum_n$. Длина плана в данном случае равна n;

$$r_1\theta_1 \quad r_2\theta_2 \quad r_n\theta_n, \tag{1}$$

т. е. План (1) $= \Sigma_0 \Rightarrow \Sigma_1 \Rightarrow \ldots \Rightarrow \Sigma_n$, где правило r_i, выполняя подстановку θ_i в состояние $\sum_{i-1}$ и реализуя действия, предписываемые правилом, переводит агента в состояние $\sum_i$.

Если речь идет о коалиции когнитивных агентов, то такое определение плана не может нас устраивать и его следует модифицировать. Но вначале дадим определение коалиции.

Определение. Коалицией когнитивных агентов будем называть такую совокупность когнитивных агентов, в которой: а) картина мира каждого агента доступна всем агентам; б) действия и их результаты доступны всем агентам; в) существуют общие цели поведения агентов; г) в достижении каждой цели участвует более одного агента.

Здесь надо заметить, что как цели, так и распределение действий плана между агентами в коалиции могут не задаваться априорно, а формироваться динамически.

Это означает, что определение плана поведения агентов в коалиции должно выглядеть следующим образом:

$$I_1 r_1 \theta_1 \quad I_2 r_2 \theta_2 \quad I_n r_n \theta_n, \tag{2}$$

т.е. План (2) $= \Sigma_0 \Rightarrow \Sigma_1 \Rightarrow \ldots \Rightarrow \Sigma_n$, где *i*-е действие выполняется *j*-м агентом.

Одна из задач, возникающих на этом пути, — задача динамического распределения ролей агентов.

5. Динамическое распределение ролей в коалиции

Итак, задача, решаемая в настоящем разделе, состоит в том, чтобы преобразовать План (1) в План (2). Для ее решения воспользуемся личностными смыслами агентов.

Здесь надо напомнить, что личностные смыслы каждого агента формируются в процессе его деятельности и оценки ее результатов с помощью специального механизма. Этот процесс — предмет специального исследования и моделирования, и его описание выходит за рамки настоящей работы [4]. Здесь будем предполагать, что личностные смыслы уже сформированы и что в структуре каждого знака действия агента (т. е. соответствующие им правила) упорядочены упомянутым механизмом в соответствии с предпочтениями агента.

Чтобы воспользоваться личностными смыслами агентов, предположим (что также коррелирует с психологическими соображениями) существование в знаковой картине мира каждого из агентов двух выделенных знаков: «Я» и «Другие». В структуре знака «Я» работает функция, оценивающая собственные знания, умения и предпочтения агента; в структуре знака «Другие» — функция, выполняющая аналогичные действия в отношении других агентов.

Опишем эту функцию. Она включает следующие операторы:

1. Внешний цикл по шагам плана План (1).
2. Для каждого шага плана План (1) цикл по множеству агентов коалиции и

а) выбор агентов, в структуре какого-либо из знаков которых содержится действие *r* текущего шага плана План (1),

б) выбор собственной оценки агента (т. е. оценки знаком «Я» агента) успешности (предпочтительности) этого действия,

в) формирование множества агентов, содержащих действие r с собственными оценками $\nu_j(r)$, где r — действие, j — номер или имя агента.

3. Цикл по множеству агентов, содержащих действие r, и формирование интегральной оценки успешности каждого из таких агентов при выполнении действия r. Интегральная оценка N может иметь мультипликативный или нечеткий характер, например $N_j = \Omega_j \cdot \nu_j(r)$, где Ω_j — оценка успешности j-го агента агентом-координатором.

4. Выбор в качестве агента для исполнения действия r в плане План (2) агента с наилучшей оценкой N_j.

5. Если шаги плана План (1) исчерпаны, то КОНЕЦ.

Очевидно, что вычислительная сложность этого алгоритма не более $O(|I| \cdot |W| \cdot |A|)$, где ($|I|$ — количество агентов, $|W|$ — мощность множества знаков, $|A|$ — мощность множества личностных смыслов, при этом берутся W и A тех агентов и соответственно знаков, где они максимальны.

Здесь было использовано предположение, что существует агент-координатор, который, в частности, взялся за составление плана поведения коалиции. Этим мог бы заняться любой агент, но тот, у которого в структуре личностного смысла функция планирования имеет наивысшее предпочтение, это сделает лучше.

Разумеется, в результате исполнения плана личностные смыслы агентов-участников и агента-координатора могут измениться (так как они формируются и меняются в результате деятельности), поэтому при последующих эпизодах решения той же задачи состав агентов-участников может измениться. Сменится может и координатор.

Заключение

Весьма кратко продемонстрирована возможность применения знакового формализма для расширения круга задач, решаемых в искусственном интеллекте. Существует и ряд иных задач, здесь не рассмотренных, таких как задачи целеполагания, интроспекции, рефлексии и другие, решение которых выходит за возможности символьного формализма, но возможно в рамках знакового формализма.

Поддержано грантом РФФИ офи-м 17-29-07051.

Список литературы

1. *Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В.* Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2014. № 4. С. 49—62.

2. *Осипов Г. С.* Методы искусственного интеллекта. 2-е изд. М. : Физматлит, 2011.

3. *Konolige K.* A deduction model of belief. San Mateo, CA, 1986.

4. *Леонтьев А. Н.* Деятельность, сознание, личность. М. : Политиздат, 1975.

Г.С. Плесневич
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
e-mail: salve777@mail.ru

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТВЕТОВ НА ЗАПРОСЫ К БАЗАМ ФАКТОВ ДЛЯ ОНТОЛОГИЙ В БУЛЕВОМ НЕЧЕТКОМ РАСШИРЕНИИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЛОГИКИ АЛЛЕНА

Введение

В 1983 г. в работе [1] Джеймс Аллен (J.F. Allen) предложил логическое исчисление, с помощью которого можно описывать отношения между темпоральными (временными) интервалами для событий и выводить новые отношения между ними. Работа Аллена оказалась весьма плодотворной (в частности, к настоящему времени число цитирований этой работы достигло 10000).

Аллен изучал качественные ограничения для темпоральных интервалов, связанных элементарными отношениями типа «раньше», «после», «в течение» и т.п.

Интервальная логика Аллена (обозначаемая **AL**) и ее расширения нашли существенные применения в задачах проектирования интеллектуальных систем (представление знаний, рассуждения по здравому смыслу, понимание естественного языка, планирование действий, онтологическое моделирование и т.д. [1—8]).

Ограничения (в частности, темпоральные) в реальных приложениях часто бывают неточными. Поэтому в задачах онтологического моделирования с использованием логики Аллена появляется необходимость фаззификации этой логики. В литературе предлагались различные подходы к фаззификации этой логики [9—12]. Большинство подходов используют различные определения нечетких темпоральных интервалов. Предлагается более абстрактный подход: без использования функций принадлежности, но с оценками степеней истинности для предложений логики Аллена.

Темпоральные интервалы в логике Аллена — это линейные интервалы на временной оси. Временная ось играет роль универсума, в котором интерпретируются предложения логики Аллена. На самом деле логические свойства предложений **AL** могут быть сформулированы с применением целочисленного универсума $\mathbb{N} = \{0,\ 1,\ 2,\ldots\}$. *Интервал* A в $\mathbb{N}$ — это множество всех натуральных чисел x таких, что $A^- \le x \le A^+$, где имена A^- и A^+ обозначают *начало* и *конец* интервала A.

Аллен ввел 13 элементарных (*базовых*) бинарных отношений между интервалами, семь прямых, обозначаемых ***b*** (before — раньше), ***m*** (meets — встречает), ***s*** (starts — начинает), ***f*** (finishes — заканчивает), ***d*** (during — в течение), ***o*** (overlaps — перекрывает), ***e*** (equals — равен), шесть обратных отношений ***b****, ***m****, ***s****, ***f****, ***d****, ***o****. Здесь звездочка * обозначает операцию обращения бинарного отношения, т.е. по определению $A\ \rho^* B \Leftrightarrow B\ \rho^* A$ для про-

© Плесневич Г.С., 2018

извольного бинарного отношения ρ. В таблице 1 дана графическая иллюстрация прямых отношений Аллена и представление их смысла в терминах равенств и неравенств между концами интервалов A и B. Обозначим

$$\Omega = \{\boldsymbol{b}, \boldsymbol{b}^*, \boldsymbol{m}, \boldsymbol{m}^*, \boldsymbol{s}, \boldsymbol{s}^*, \boldsymbol{f}, \boldsymbol{f}^*, \boldsymbol{d}, \boldsymbol{d}^*, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{o}^*, \boldsymbol{e}\}.$$

Таблица 1

Прямые атомарные предложения

Отношение	Иллюстрация	(не)равенства
$A\ \boldsymbol{b}\ B$	|==A==| |===B===|	$A^+ < B^-$
$A\ \boldsymbol{m}\ B$	|==A==|===B===|	$A^+ = B^-$
$A\ \boldsymbol{s}\ B$	|==A==| |===B===|	$A^- = B^-, A^+ < B^+$
$A\ \boldsymbol{f}\ B$	|==A==| |===B===|	$B^- < A^-, A^+ = B^+$
$A\ \boldsymbol{d}\ B$	|==A==| |===B===|	$B^- < A^-, A^+ < B^+$
$A\ \boldsymbol{o}\ B$	|==A==| |===B===|	$A^- < B^-, B^- < A^+,$ $A^+ < B^+$
$A\ \boldsymbol{e}\ B$	|===A===| |===B===|	$A^- = B^-, A^+ = B^+$

Произвольное предложение логики Аллена **AL** — дизъюнкция элементарных предложений и записывается в виде $A\ \omega\ B$, где A и B — имена интервалов, а $\omega \subseteq \Omega$. Но множество ω в предложении записывается без фигурных скобок и запятых. Например, пишут $A\ \boldsymbol{bod^*f}\ B$, а не $A\{\boldsymbol{b}, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{d}^*, \boldsymbol{f}\}B$. Таким образом, предложение $A\ \boldsymbol{bod^*f}\ B$ эквивалентно дизъюнкции $A\ \boldsymbol{b}\ B \vee A\ \boldsymbol{o}\ B \vee \vee A\ \boldsymbol{d^*}B \vee A\ \boldsymbol{f}\ B$.

В логике Аллена неполное знание о том, какое элементарное отношении имеет место данными интервалами A и B, выражается дизъюнкцией. Например, когда записывается предложение $A\ \boldsymbol{bod^*}B$, то это означает, что между интервалами A и B имеет место ровно одно из отношений $\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{o}$ или $\boldsymbol{d}$, но неизвестно, какое именно.

Другой способ для выражения неполноты знания — использование нечеткой логики. С данным элементарным предложением $A\ \theta\ B$ можно связать число $\deg(A\ \theta\ B)$ из единичного интервала [0,1], состоящего из всех вещественных чисел x таких, что $0 \le x \le 1$. Это число выражает *степень истинности* предложения $A\ \theta\ B$. Если $\deg(A\ \theta\ B) = 1$, то предложение $A\ \theta\ B$ истинно, а если $\deg(A\ \theta\ B) = 0$, то $A\ \theta\ B$ ложно.

В рассматриваемой нечеткой логике для степеней истинности предложений возьмем норму min. Поэтому, например, степень истинности предложения $A\ \boldsymbol{bod^*}B$ равна $\deg(A\ \boldsymbol{bod^*}\ B) = \min\{\deg(A\ \boldsymbol{b}\ B), \deg(A\ \boldsymbol{o}\ B), \deg(B\ \boldsymbol{d}\ A)\}$.

Назовем *онтологией*, записанной в логике Аллена **AL**, конечное множество $\boldsymbol{O}$ предложений этой логики. Рассмотрим нечеткие интерпретации онто-

логий, определяющие степени истинности предложений из ***O***. Нечеткая интерпретация логики **AL** — это некоторая функция "_", которая каждому предложению φ из **AL** сопоставляет число "φ" $\in [0,1]$.

Заметим, что эксперты, создающие для реальных приложений нечеткие онтологии и базы фактов для них, как правило, не могут знать точные значения степеней истинности, но они могут указать оценки для этих степеней.

Пусть r — рациональное число из единичного интервала [0,1] и φ — предложение логики **AL**. Тогда выражение вида $\varphi \geq r$ назовем *нижней оценкой*, а выражение $\varphi \leq r$ — *верхней оценкой* для предложения φ.

Пусть $\boldsymbol{O} = \{\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n\}$ — онтология, записанная в логике **AL**. Для каждого предложения φ_i выберем рациональное число $r_i \in [0,1]$. Множество оценок $\boldsymbol{F} = \{\varphi_1 \geq r_1, \varphi_2 \geq r_2, \ldots, \varphi_n \geq r_n\}$ можно рассматривать как *базу фактов* для онтологии ***O***.

Неформально $\varphi_i \in \boldsymbol{O}$ — это фрагмент общего знания о предметной области для моделируемого приложения, а $\varphi_i \geq r_i$ — это факт, подпадающий под φ_i. Интуитивно этот факт означает, что степень истинности предложения φ_i не меньше, чем r_i.

Интервальная логика Аллена недостаточно выразительна для решения задач онтологического моделирования многих реальных приложений. Более выразительно булево расширение **BAL** логики Аллена. Предложения логики **BAL** — булевы комбинации предложений логики **AL** вместе с пропозициональными переменными. Таким образом, если **P** обозначает множество пропозициональных переменных, то $\varphi \in$ **BAL** тогда и только тогда, когда $\varphi \in$ **AL**, $\varphi \in$ **P**, либо существуют $\psi_1, \psi_2 \in$ **BAL** такие, что $\varphi = \sim \psi$, $\varphi = \psi_1 \wedge \psi_2$, либо $\varphi = \psi_1 \vee \psi_2$.

Пусть **AL**(***O***) — множество всех предложений логики Аллена, использующих имена интервалов из онтологии ***O***. Далее суффикс (***O***) означает, что данное множество только тех выражений, в которых используются имена интервалов из онтологии. В частности, имеем обозначения **BAL**(***O***) для множества предложений из **BAL**, в которых использованы только имена интервалов, входящих в ***O***, и обозначение **LE**(***O***) для множества нижних оценок вида $\varphi \geq r$, где φ — предложение из **BAL**, а r — рациональное число из [0,1].

При нечеткой интерпретации "_" каждая оценка становится истинной или ложной: оценка $\varphi \geq r$ истинна тогда и только тогда, когда "φ" $\geq r$. Таким образом, множество **LE**(***O***), рассматриваемое вместе с нечеткими интерпретациями, формирует *четкую* логику. Как и всякая логика, она индуцирует отношение $\models$ логического следствия: для любых $E \subseteq$ **LE**(***O***) и $\beta \in$ **LE**(***O***) имеет место $E \models \beta$ тогда и только тогда, когда не существует нечеткой интерпретации, при которой все оценки $\alpha \in E$ истинны, а оценка β ложна.

Отношение логического следствия используется для определения ответов на запросы к базам фактов для онтологий, записанных в **AL** или **BAL**. *Запросы* записываем в виде ?φ, где φ — предложение **AL** или **BAL**. *Ответ* на запрос ?φ к базе фактов F — это оценка $\varphi \geq g$ со следующими свойствами:

(а) $F \models \varphi \geq g$ и (б) не существует числа $r \in [0,1]$ такого, что $r > g$ и $F \models \varphi \geq g$. Другими словами, $\varphi \geq g$ есть наилучшая нижняя оценка, логически следующая из F.

В настоящей работе рассмотрим две задачи, связанные с вычислением ответов на запросы к базам фактов для онтологий, записанных в логике **BAL**.

Задача 1. Построить алгоритм ALG со свойствами:

— ALG применим ко всякой паре $(\boldsymbol{F},?\psi)$, где $\boldsymbol{F}$ — база фактов для записанной в **BAL** или $\mathbf{BAL}^2$ онтологии, а $?\psi$ — запрос к базе $\boldsymbol{F}$;

— результат $\mathrm{ALG}(\boldsymbol{F},?\psi)$ применения алгоритма — ответ на запрос $?\psi$ к базе $\boldsymbol{F}$.

Для решения этой задачи предлагается метод, основанный на аналитических таблицах [1]. Основанный на аналитических таблицах алгоритм ALG имеет экспоненциальную вычислительную сложность (относительно размера входа $(\boldsymbol{F},?\psi)$).

Однако зафиксируем онтологию $\boldsymbol{O} = \{\varphi_1, \varphi_2,\ldots, \varphi_n\}$ и запрос $?\psi$, считая входом для алгоритма базу фактов с параметрами $a_1, a_2,\ldots, a_n$, т. е. $\mathrm{PF}(\boldsymbol{O}) = \{\varphi_1 \geq a_1, \varphi_2 \geq a_2,\ldots, \varphi_n \geq a_n\}$. Тогда ответом на запрос $?\psi$ к параметрической базе фактов $\mathrm{PF}(\boldsymbol{O})$ будет некоторая оценка $?\psi \geq g$, где g — функция от параметров a_i $(1 \leq i \leq n)$, причем такая, что для произвольных значений $r_i \in [0,1]$ оценка $\psi \geq g(r_1, r_2,\ldots, r_n)$ есть ответ на запрос $?\psi$ к базе фактов $\{\varphi_1 \geq r_1, \varphi_2 \geq r_2,\ldots, \varphi_n \geq r_n\}$. Таким образом, эту оценку можно считать *общим ответом* на запрос к параметрической базе фактов.

Задача 2. Построить алгоритм для нахождения общего ответа на запрос к параметрической базы фактов, т. е. алгоритм $\mathrm{ALG}^{\mathrm{o}}$ со свойствами:

— $\mathrm{ALG}^{\mathrm{o}}$ применим ко всякой паре $(\boldsymbol{O},?\psi)$, где $\boldsymbol{O}$ — онтология и $?\psi$ — запрос к параметрической базе фактов $\mathrm{PF}(\boldsymbol{O})$;

— результат $\mathrm{ALG}^{\mathrm{o}}(\boldsymbol{O},?\psi)$ применения алгоритма есть общий ответ $\psi \geq g(a_1, a_2,\ldots, a_n)$ на запрос $?\psi$ к параметрической базе фактов $\boldsymbol{PF}(\boldsymbol{O})$.

1. Интерпретации онтологий

Введем следующие обозначения для онтологий в **BAL**: $\mathrm{P}(\boldsymbol{O})$ — множество пропозициональных переменных из $\boldsymbol{O}$; $\mathrm{E}(\boldsymbol{O})$ — множество имен A^- и A^+, обозначающих концы интервалов A из онтологии $\boldsymbol{O}$; $\mathrm{A}(\boldsymbol{O})$ — множество всех равенств и неравенств вида $X = Y$ и $X < Y$, где $X, Y \in \mathrm{E}(\boldsymbol{O})$; $\mathrm{F}(\boldsymbol{O})$ — множество всех булевых комбинаций равенств и неравенств, взятых из $\mathrm{A}(\boldsymbol{O})$; $\mathbf{F}$ — множество всех булевых комбинаций формальных равенств и неравенств вида $X = Y$ и $X < Y$, где X, Y — переменные, принимающие значения в $\mathrm{E}(\boldsymbol{O})$.

Пример 1. Для онтологии $\boldsymbol{O} = \{p \rightarrow A\ \boldsymbol{mos^*}\ B \wedge B\ \boldsymbol{d}\ C, \sim A\ \boldsymbol{o}\ C \vee \sim q\}$ имеем

1. $\mathrm{P}(\boldsymbol{O}) = \{p, q\}$.
2. $\mathrm{E}(\boldsymbol{O}) = \{A^-, A^+, B^-, B^+, C^{-^*}, C^+\}$.
3. $A^- = A^+$, $A^- = B^+$, $B^+ < C^+$ принадлежат $\mathrm{A}(\boldsymbol{O})$.
4. $\sim(A^- = C^+) \vee (A^- < C^-) \wedge \sim(A^- < A^+)$ принадлежит $\mathrm{F}(\boldsymbol{O})$.
5. $\sim(X < Y) \rightarrow (X = Y) \vee (Y < X)$ принадлежит $\mathbf{F}$.

Начальная интерпретация онтологии $\boldsymbol{O}$ — это функция ${}^{\#}_{}^{\#}$, заданная на E($\boldsymbol{O}$) со значениями в $\mathbb{N} = \{0, 1, 2, \ldots\}$, причем такая функция, что ${}^{\#}A^{-\#} \le {}^{\#}A^{+\#}$ для любого интервала A из онтологии $\boldsymbol{O}$.

Функция ${}^{\#}_{}^{\#}$ индуцирует *интерпретацию* "_" как функцию, отображающую равенства и неравенства из A($\boldsymbol{O}$) в булевы значения 0 и 1. Для любых $X, Y \in$ E($\boldsymbol{O}$), $X \neq Y$ полагаем

$$\text{“}X = Y\text{”} = 1 \Leftrightarrow {}^{\#}X^{\#} = {}^{\#}Y^{\#} \text{ и “}X < Y\text{”} = 1 \Leftrightarrow {}^{\#}X^{\#} < {}^{\#}Y^{\#}.$$

Интерпретация "_" продолжается последовательно на множества **AL**($\boldsymbol{O}$) и **BAL**($\boldsymbol{O}$) с помощью следующих правил:

– “A ***b*** B” = “$A^+ < B^-$”,
  “A ***m*** B” = “$A^+ = B^-$”,
  “A ***s*** B” = “$A^- = B^-$” $\wedge$ “$A^+ < B^+$” = min{“$A^- = B^-$”, “$A^+ < B^+$”},
  “A ***f*** B” = “$B^- < A^-$” $\wedge$ “$A^+ = B^+$” = min{“$B^- < A^-$”, “$A^+ = B^+$”},
  “A ***d*** B” = “$B^- < A^-$” $\wedge$ “$A^+ < B^+$” = min{“$B^- < A^-$”, “$A^+ < B^+$”},
  “A ***e*** B” = “$A^- = B^-$” $\wedge$ “$A^+ = B^+$” = min{“$A^- = B^-$”, “$A^+ = B^+$” }
  “A ***o*** B” = “$A^- < B^-$” $\wedge$ “$B^- < A^-$” $\wedge$ “$B^- < A^-$” =
  min{“$A^- < B^-$”, “$B^- < A^-$”, “$B^- < A^-$”;
– “$A\ \theta\omega\ B$”=“$A\ \theta\ B$” $\vee$ “$A\ \omega\ B$” = max{“$A\ \theta\ B$”, “$A\ \omega\ B$”},где $\theta \in \Omega$ и $\omega \subseteq \Omega$;
– “$\sim \varphi$” = 1– “φ”, “$\varphi \wedge \psi$” = “φ” $\wedge$ “ψ” = min{“φ”,“ψ”},
  “$\varphi \vee \psi$” = “φ” $\vee$ “ψ” = max{“φ”,“ψ”}, где $\varphi, \psi \in$ **BAL**($\boldsymbol{O}$) $\theta \in \Omega$.

Функция "_" также распространим на **F** с помощью правил

$$\text{“}\sim V\text{”} = \sim\text{“}V\text{”},\ \text{“}V_1 \wedge V_2\text{”} = \text{“}V_1\text{”} \wedge \text{“}V_2\text{”} \text{ и “}V_1 \wedge V_2\text{”} = \text{“}V_1\text{”} \wedge \text{“}V_2\text{”}.$$

Например, имеем

$$\text{“}\sim(X < Y) \to (X = Y) \vee (Y < X)\text{”} = \sim\text{“}X < Y\text{”} \to \text{“}X = Y\text{”} \vee \text{“}Y < X\text{”}.$$

Из предыдущего видно, что интерпретация предложения φ из **AL**($\boldsymbol{O}$) определяется только значениями "V" для равенств и неравенств V, входящих в φ. Другими словами, семантика этих логик определяется функциями вида "_" : A($\boldsymbol{O}$){0,1}, которые индуцируются начальными интерпретациями.

Конечно, не каждая функция A($\boldsymbol{O}$) $\mapsto$ {0,1} индуцируется начальными интерпретациями. Индуцируемая интерпретация должна быть согласована с семантикой неравенств и равенств для натуральных чисел. Эта семантика определяется ограничениями на значения неравенств и равенств в интерпретациях "_". Возьмем, например, формулу $\sim (x < y) \to (x = y) \vee (y < x)$, которая истинна для всех $x, y \in \mathbb{N}$, тогда для всех $X, Y \in$ E($\boldsymbol{O}$) будет истинна формула

$$\sim({}^{\#}X^{\#} < {}^{\#}Y^{\#}) \to ({}^{\#}X^{\#} = {}^{\#}Y^{\#}) \vee ({}^{\#}Y^{\#} < {}^{\#}X^{\#}),$$

т. е. истинна формула

$$\sim\text{“}X < Y\text{”} \to \text{“}X = Y\text{”} \vee \text{“}Y < X\text{”}.$$

Следовательно, должно быть "X=Y"=1 или "$Y < Y$" = 1, когда "$X < Y$" = 0.

Вообще, справедливо следующее утверждение.

A: Пусть формулы σ и τ принадлежат **F** и формула $\sigma \to \tau$ истинна в $\mathbb{N}$. Тогда "σ" ≤ "τ" и "$A^- < A^+$"= 1 для всех $A \in$ E(***O***). (Заметим, что неравенство "σ" ≤ "τ" эквивалентно утверждению, что импликация "σ"→"τ" истинно.)

Введенное выше понятие интерпретации интервальной логики Аллена мотивирует следующее определение нечетких интерпретаций онтологии, записанной в логиках **AL** или **BAL**.

Нечеткая интерпретация онтологии ***O*** в логике **AL** или **BAL** — это функция, заданная на множестве A(***O***), принимающая значения в единичном интервале [0,1] = $\{x \mid 0 \le x \le 1\}$, причем такая, что выполняется условия **A**.

Нечеткая интерпретация онтологии ***O*** в логике **BAL** — это функция "_", заданная на множестве A(***O***) и принимающая значения в единичном интервале [0,1], причем такая, что выполняется условие **A** и "$A^- < A^+$" = 1 для любого интервала A из онтологии ***O***.

2. Вычисление ответа на запросы к базам фактов

Хорошо известно, что проблема логического следствия сводится к проблеме невыполнимости. В частности, для базы фактов ***F*** и оценки $\varphi \ge r$ имеем $\boldsymbol{F} \models \varphi \ge r$ тогда и только тогда, когда множество оценок $\boldsymbol{F} \cup \{\varphi < r\}$ невыполнимо (несовместно).

Для решения проблемы невыполнимости баз фактов в логике **EL** используем метод аналитических таблиц [1]. Этот метод можно также применять для решения задачи вычисления ответов на запросы к базам фактов для онтологий, записанных в логиках **AL** и **BAL**.

В таблице 2 даны правила вывода для оценок, содержащих (в первой позиции) булевы связки. Покажем на примере, как применять эти правила.

Таблица 2

Правила вывода для булевых связок

Номер	Антецедент	Консеквенты
1	$\sim \varphi \ge t$	$\varphi \le 1- t$
2	$\varphi \wedge \psi \ge t$	$\varphi \ge t$ & $\psi \ge t$
3	$\varphi \wedge \psi \le t$	$\varphi \le t \mid \psi \le t$
4	$\varphi \vee \psi \ge t$	$\varphi \ge t \mid \psi \ge t$
5	$\varphi \vee \psi \le t$	$\varphi \le t$ & $\le t$
6	$\varphi \to \psi \ge t$	$\varphi \le 1- t \mid \psi \ge t$
7	$\varphi \to \psi \le t$	$\varphi \ge 1- t$ & $\psi \le t$
Плюс такие же правила, но с заменой знаков ≥ и ≤ на знаки > и <		

Пример 2. Возьмем онтологию $\boldsymbol{O} = \{p \wedge q,\ q \rightarrow r\}$, базу фактов $\boldsymbol{F} = \{p \wedge q \geq 0{,}8\ ,\ q \rightarrow r \geq 0{,}6\}$ и запрос $?p \wedge r$.

Для вычисления запроса $?p \wedge r$ к базе фактов $\boldsymbol{F}$ рассмотрим логическое следствие $\boldsymbol{F} \models\!| = p \wedge r \geq x$ и, применяя метод аналитических таблиц, найдем наибольшее x, при котором это логическое следствие справедливо. Логическое следствие при данном x имеет место тогда и только тогда, когда множество оценок $\boldsymbol{F} \cup \{p \wedge r < x\}$ невыполнимо. На рисунке 1 изображено дерево вывода, полученное в результате применения правил вывода из таблицы 2 к этому множеству. С вершинами дерева ассоциированы метки. Например, с первой (корневой) вершиной дерева ассоциирована метка '[1] T2(2)', приписанная к вершине справа. Она сообщает, что на шаге 1 к формуле $p \wedge q \geq 0{,}8$ было применено правило вывода, стоящее в таблице 2 в строке 3, т.е. правило $\varphi \wedge \psi \geq t \vdash \varphi \geq t\ \&\ \psi \geq t$. В результате применения этого правила были получены две формулы $p \geq 0{,}8$ и $q \geq 0{,}8$, добавленные подряд к текущей ветви дерева (в данном случае к начальной ветви). Этим формулам-вершинам слева была приписана метка '1:', сообщающая, что формулы были получены на шаге 1. Ассоциированная со второй вершиной дерева метка '[2] T2(6)' сообщает, что на шаге 2 применено правило 6 из таблицы 2, т.е. правило $\varphi \rightarrow \psi \geq t \vdash \varphi \geq 1 - t\ |\ \psi \geq t$. В результате использования этого правила к текущей ветви дерева присоединена «вилка» из двух формул $q \leq 0{,}4$ и $/r \geq 0{,}6$. На шаге 3 к формулам $q \geq 0{,}8$ и $q \leq 0{,}4$ применено правило 1 из таблицы 3. В результате получен символ X, сообщающий, что эти две формулы противоречивы. На шаге 5 к формулам $p \geq 0{,}8$ и $p < x$ применено правило 6 из таблицы 3, результат использования которого — неравенство $x \leq 0{,}8$. Это неравенство означает, что вторая /ветвь дерева замкнута (противоречива) в точности для тех значений x, которые не превосходят 0,8. На шаге 6 было применено правило T3(6) и получено неравенство $x \leq 0{,}6$. Таким образом, дерево вывода замкнуто тогда и только тогда, когда $x \leq 0{,}8$ и $x \leq 0{,}6$, т.е. когда $x \leq \min\{0{,}8,\ 0{,}6\} = 0{,}6$. Следовательно, оценка $p \wedge r \geq 0{,}6$ служит ответом на запрос $?- p \wedge r$ к базе фактов $\boldsymbol{F} = \{p \wedge q \geq 0{,}8\ ,\ q \rightarrow r \geq 0{,}6\}$.

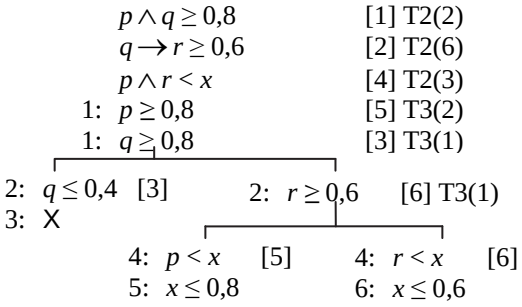


Рис. 1. Дерево вывода в Примере 1

Таблица 3

Заключительные правила

Номер	Антецеденты	Консеквент
1	$V \geq r$, $V \leq s$, $r > s$	X
2	$V \geq r$, $V < s$, $r \geq s$	X
3	$V > r$, $V \leq s$, $r \geq s$	X
4	$V > r$, $V < s$, $r \geq s$	X
5	$V > z$, $V < r$	$z \geq r$
6	$V > z$, $V \leq r$	$z \geq r$
7	$V \geq z$, $V < r$	$z \geq r$
8	$V \geq z$, $V \leq r$	$z > r$
9	$V < z$, $V > r$	$z \leq r$
10	$V < z$, $V \geq r$	$z \leq r$
11	$V \leq z$, $V > r$	$z \leq r$
12	$V \leq z$, $V \geq r$	$z < r$
V — пропозициональная переменная или $V \in$ A($\boldsymbol{O}$), $r, s \in [0,1]$, z — переменная		

Вывод по методу аналитических таблиц при вычислении ответа на запросы к базам фактов для произвольных онтологий, записанных в логиках **AL** или **BAL**, требует правил, указанных в таблицах 2—6.

Легко доказать, что все эти правила *состоятельны* (кроме заключительных, чисто синтаксических). Состоятельность правила состоит в том, что его консеквент (консеквенты) истинен (истинны), если истинен (истинны) антецедент (антецеденты).

Возьмем, например, правило T2(1), т. е. $\sim \varphi > t \vdash \varphi < 1 - t$. В любой интерпретации "_" имеем "~ φ > t "= 1 ⇔ "~ φ" > t ⇔ 1 –"φ" > t ⇔ "φ" < 1 – t ⇔ ⇔ "φ < 1– t " = 1. Следовательно, если оценка ~ φ > t истинна, то оценка φ < 1– t также истинна, т. е. правило T2(1) состоятельно.

Докажем состоятельность правила вывода T4(7). Имеем "$A \boldsymbol{f} B \geq t$" = 1 ⇔ ⇔ "$A \boldsymbol{f} B$" ≥ t ⇔ "$(B^- < A^-) \wedge (A^+ = B^+) \geq t$ " ⇔ "$(B^- < A^-) \wedge (A^+ = B^+)$" ≥ t ⇔ ⇔ min{"$B^- < A^-$ ", "$A^+ = B^+$"}≥ t ⇔ "$B^- < A^-$ " ≥ t , "$A = B^+$"≥ t ⇔ "$(B^- < A^-) \geq t$" =1, "$(A^+ = B^+) \geq t$ "= 1.

Таблица 4

Правила вывода для связок Аллена

Номер	Антецедент	Консеквент
1	$A \boldsymbol{b} B \geq t$	$(A^+ < B^-) \geq t$
2	$A \boldsymbol{b} B \leq t$	$(A^+ < B^-) \leq t$
3	$A \boldsymbol{m} B \geq t$	$(A^+ = B^-) \geq t$
4	$A \boldsymbol{m} B \leq t$	$(A^+ = B^-) \leq t$
5	$A \boldsymbol{o} B \geq t$	$(A^- < B^-) \geq t$ and $(B^- < A^+) \geq t$ and $(A^+ < B^+) \geq t$
6	$A \boldsymbol{o} B \leq t$	$(A^- < B^-) \leq t$ or $(B^- < A^+) \leq t$ or $(A^+ < B^+) \leq t$
7	$A \boldsymbol{f} B \geq t$	$(B^- < A^-) \geq t$ and $(A^+ = B^+) \geq t$

Окончание табл. 4

Номер	Антецедент	Консеквент
8	$A \; \boldsymbol{f} \; B \le t$	$(B^- < A^-) \le t$ or $(A^+ = B^+) \le t$
9	$A \; \boldsymbol{s} \; B \ge t$	$(A^- = B^-) \ge t$ and $(A^+ < B^+) \ge t$
10	$A \; \boldsymbol{s} \; B \le t$	$(A^- = B^-) \le t$ or $(A^+ < B^+) \le t$
11	$A \; \boldsymbol{d} \; B \ge t$	$(B^- < A^-) \ge t$ and $(A^+ < B^+) \ge t$
12	$A \; \boldsymbol{d} \; B \le t$	$(B^- < A^-) \le t$ or $(A^+ < B^+) \le t$
13	$A \; \boldsymbol{e} \; B \ge t$	$(A^- = B^-) \ge t$ and $(A^+ = B^+) \ge t$
14	$A \; \boldsymbol{e} \; B \le t$	$(A^- = B^-) \le t$ or $(A^+ = B^+) \le t$
15	$A \; \theta\omega \; B \ge t$	$A \; \theta \; B \ge t$ or $A \; \omega \; B \ge t$
16	$A \; \theta\omega \; B \le t$	$A \; \theta \; B \le t$ and $A \; \omega \; B \le t$
Плюс те же правила, но с заменой знаков $\ge$ и $\le$ на знаки $>$ и $<$		

Таблица 5

Транзитивные правила

Номер	Антецеденты	Консеквент
1	$(X < Y) \ge u, (Y < Z) \ge v$	$(X < Z) \ge \min\{u, v\}$
2	$(X < Y) \ge u, (Y < Z) > v$	$(X < Z) > \min\{u, v\}$
3	$(X < Y) > u, (Y < Z) \ge v$	$(X < Z) \ge \min\{u, v\}$
4	$(X < Y) > u, (Y < Z) > v$	$(X < Z) \ge \min\{u, v\}$
5	$(X \le Y) \le u, (Y \le Z) \le v$	$(X < Z) \ge \max\{u, v\}$
6	$(X \le Y) \le u, (Y \le Z) < v$	$(X < Z) < \max\{u, v\}$
7	$(X < Y) < u, (Y < Z) \le v$	$(X < Z) \ge \max\{u, v\}$
8	$(X < Y) < u, (Y < Z) < v$	$(X < Z) \ge \max\{u, v\}$
Плюс те же правила, но с заменой $Y < Z$ на $Y = Z$		

Таблица 6

Правила для модификации оценок

Номер	Антецедент	Консеквент
1	$(X < A^-) \ge t$	$(X < A^+) \ge t$
2	$(X = A^-) \ge t$	$(X < A^+) \ge t$
3	$(A^+ < X) \ge t$	$(A^- < X) \ge t$
4	$(A^+ = X) \ge t$	$(A^- < X) \ge t$
5	$(X < A^-) > t$	$(X < A^+) > t$
6	$(X = A^-) \ge t$	$(X < A^+) \ge t$
7	$(A^+ < X) \ge t$	$(A^- < X) \ge t$
8	$(A^+ = X) \ge t$	$(A^- < X) \ge t$
Плюс те же правила, но с заменой знаков $\ge$ и $>$ на знаки $\le t$ и $< t$		

Таким образом, если антецедент $A \; \boldsymbol{f} \; B \ge t$ правила Т4(7) истинен в интерпретации "_", то консеквенты $(B^- < A^-) \ge t$ и $(A^+ = B^+) \ge t$ также истинны, т. е. это правило состоятельно.

Рассмотрим транзитивное правило 1 в таблице 5 (T5(1)).

Пусть его антецеденты истинны, т. е. “$(X < Y) \geq u$” = 1 и “$(Y < Z) \geq v$” = 1. Тогда имеем “$X < Y$ ” $\geq u$, “$Y<Z$ ”$\geq v$. С другой стороны, поскольку формула $(X < Y) \wedge (Y < Z) \rightarrow X<Z$ истинна в $\mathbb{N}$, имеем благодаря свойству **A**

$$\text{“}(X < Y) \wedge (Y < Z)\text{”} \leq \text{“}X <Z\text{ ”},$$

$$\min\{\text{“}X < Y\text{”}, \text{“}Y < Z\text{”}\} \leq \text{“}X <Z\text{ ”},$$

$$\text{“}X <Z\text{ ”} \geq \min\{\text{“}X < Y\text{”}, \text{“}Y < Z\text{”}\} \geq \min\{u, v\},$$

поэтому

$$\text{“}X < Y\text{ ”} \geq u, \text{“}Y < Z\text{ ”} \geq v \Rightarrow \text{“}X <Z\text{ ”} \geq \min\{u,v\},$$

$$\text{“}(X < Y) \geq u\text{”}=1, \text{“}(Y < Z) \geq v\text{”}= 1 \Rightarrow \text{“}(X <Z\,) \geq \min\{u,v\}\text{”} = 1,$$

таким образом, правило вывода T5(1) состоятельно.

Рассмотрим пример вычисления ответа на запрос к базе фактов для онтологии в логике **AL**.

Пример 2. Возьмем следующие онтологию, базу фактов и запрос:

$$\boldsymbol{O}=\{p \wedge B\ \boldsymbol{bm}\ C \geq 0{,}6,\ p \rightarrow A\ \boldsymbol{d}\ B \geq 0{,}8\},$$

$$\boldsymbol{F} =\{p \wedge B\ \boldsymbol{bm}\ C \geq 0{,}6,\ p \rightarrow A\ \boldsymbol{d}\ B \geq 0{,}8\},$$

$$?A\ \boldsymbol{b}\ C.$$

На рисунке 2 изображено дерево вывода для доказательства невыполнимости множества $\boldsymbol{F} \cup \{?A\ \boldsymbol{b}\ C < x\}$. Наибольшее значение x, при котором это множество невыполнимо, определяет ответ на запрос. Наибольшее значение x, при котором вторая и третья ветвь дерева замкнуты, равно 0,6. Следовательно, $A\ \boldsymbol{b}\ C < 0{,}7$ есть ответ на запрос к базе фактов $\boldsymbol{F}$.

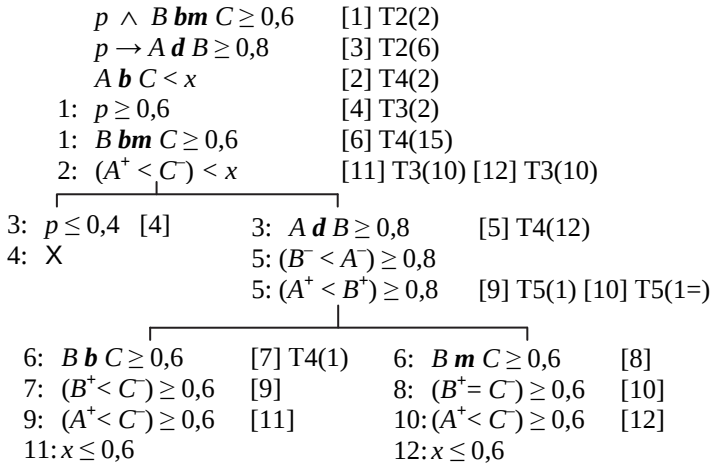


Рис. 2. Дерево вывода для Примера 2

Рассмотрим пример вычисления общего ответа на запрос к параметрической базе фактов.

Пример 3. Возьмем онтологию ***O*** из Примера 2. Тогда параметрической базой фактов для ***O*** является

$$\mathrm{PF}(\boldsymbol{O}) = \{p \wedge B\ \boldsymbol{bm}\ C \geq a_1,\ p \rightarrow A\ \boldsymbol{d}\ B \geq a_2\}.$$

На рисунке 3 представлено дерево вывода для множества $\mathrm{PF}(\boldsymbol{O}) \cup \cup \{?A\ \boldsymbol{b}\ C < x\}$. Откуда видно, что первая ветвь замкнута, когда $a_1+a_2 >1$, а вторая и третья ветви будут замкнуты тогда и только тогда, когда $x \leq \min\{a_1,a_2\}$.

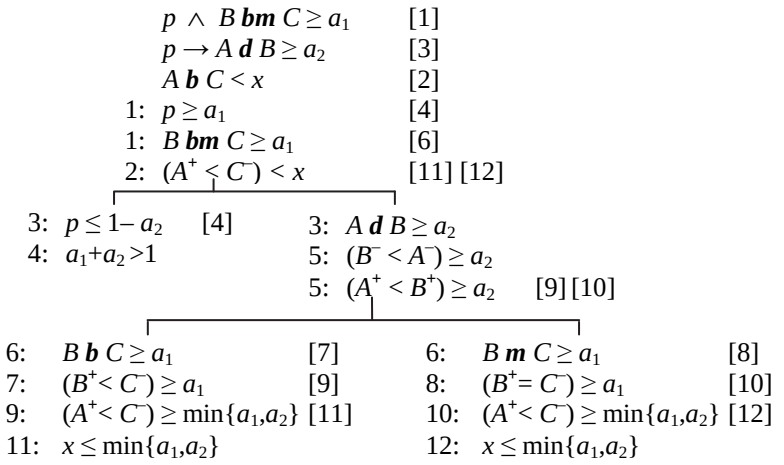


Рис. 3. Дерево вывода для Примера 3

Дж. Аллен предложил метод вывода, использующий операцию композиции базовых отношений между темпоральными интервалами. Эту операцию он определил как множество $\theta_1 \bullet \theta_2 \subseteq \Omega$ такое, что

$$\theta \in \theta_1 \bullet \theta_2 \Leftrightarrow A\ \theta_1 B \wedge B\ \theta_2 C \wedge A\ \theta\ C.$$

Например, ***o*** • ***d*** = ***bmo*** (рис. 4).

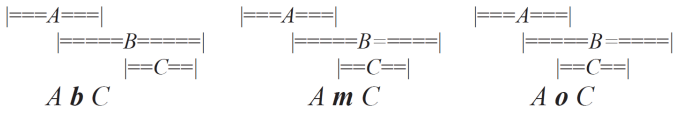


Рис. 4. Операция ***o*** • ***d*** = ***bmo***

Операцию композиции можно использовать в деревьях вывода, что позволяет сокращать вывод. Например, на рисунке 5 изображено следующее дерево вывода:

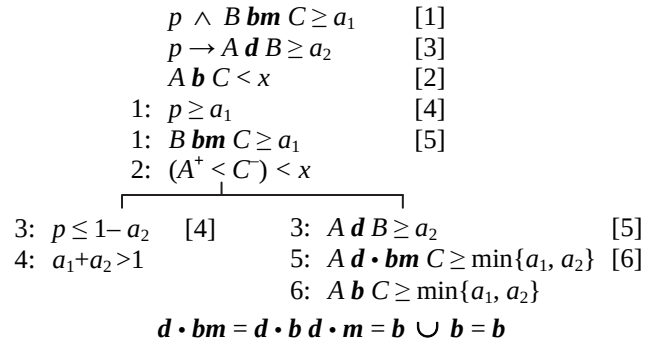


Рис. 5. Дерево вывода с операцией композиции

К сожалению, применение композиций иногда дает оценки, не лучшие как ответы на запросы.

Заключение

Определена логика нижних оценок для степеней истинности предложений булева нечеткого расширения интервальной логики Аллена. Для онтологии $\boldsymbol{O}$ в этой логике могут быть заданы базы фактов $\boldsymbol{F}$ как множества истинностных оценок для входящих в $\boldsymbol{O}$ предложений. Рассматривалась задача вычисления ответов (как наилучших оценок) на запросы к базе фактов $\boldsymbol{F}$. Для решения этой задачи был применен метод аналитических таблиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 17-07-01332).

Список литературы

1. *Handbook* of Tableaux Methods / D'Aggostino, M., Gabbay, D., Hahnle, R., Possega J. (eds.). Kluwer Academic Publishers, 1999.

2. *Allen J.F.* Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the ACM. 1983. Vol. 26(11). P. 832—843.

3. *Allen J.F.* Towards a general theory of action and time // Artificial Intelligence. 1984. Vol. 23. P. 123—154.

4. *Allen J.F.* Natural language understanding. Menlo Park, CA : Benjamin Cummings, 1987.

5. *Allen J.F.* Planning as temporal reasoning // Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. San Mateo, CA : Morgan Kaufmann, 1991. P. 3—14.

6. *Allen J.F., Kautz H.A., Pelavin R.N. et al.* Reasoning about Plans. Morgan Kaufmann, 1999.

7. *Schilder F., G. Katz G., Pustejovsky J.* Annotating, Extracting and Reasoning about Time and Events // Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2007. Vol. 4795. P. 1—6.

8. *Verhagen M.* Drawing TimeML relations with TBox // Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2007. Vol. 4795. P. 7—28.

9. *Badaloni S., Giacomin M.* A fuzzy extension of Allen's interval algebra // Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag, 2000. Vol. 1792. P. 155—165.

10. *Schockaert S., De Cock M., Kerre E.* Imprecise temporal interval relations // LNCS. 2006. Vol. 3849. P. 108—113.

11. *Schockaert S., De Cock M., Kerre E.* An efficient characterization of fuzzy temporal interval relations // Proc. 2006 IEEE World Congress on Computational Intelligence. Vancouver, 2006. P. 9026—9033.

12. *Schockaert S., De Cock M.* Temporal reasoning about fuzzy intervals // Artificial Intelligence. 2008. Vol. 172. P. 1158—1193.

В.Б. Тарасов
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: tarasov@rk9.bmstu.ru

БИПОЛЯРНЫЕ ШКАЛЫ, МНОГОЗНАЧНЫЕ СЕМАНТИКИ И РЕШЕТКИ МОДАЛЬНОСТЕЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ КОГНИТИВНЫХ АГЕНТОВ

Посвящается Д.А. Поспелову

Введение

Тема этой статьи навеяна работами Д. А. Поспелова в области построения модели мира когнитивного агента на базе биполярных шкал [1; 2] и размещения знаний в специальном семантическом пространстве, шкалы которого могут отражать принципы работы как вербально-логического, так и образного мышления. В первом случае речь идет о словах-антагонистах, прежде всего антонимах естественного языка, создании оппозиционных шкал на их основе, построении естественных операций для лингвистических и логико-лингвистических шкал и отображений между шкалами в семантическом пространстве. Во втором случае имеем дело с образными шкалами и специфическими операциями на этих шкалах, такими как уравновешивание, стабилизация, упрощение, фокусировка размытых целостных образов [3]. На наш взгляд, Д. А. Поспелов, будучи основоположником прикладной семиотики, может также считаться одним из пионеров *когнитивной семантики* — науки о связях между отдельными когнитивными процессами в семантическом пространстве и формах их взаимодействия. Главная проблема когнитивной семантики — концептуализация (конструирование смыслов) и представление знаний как концептуальных структур [4; 5]. В ней значение изучается как когнитивный феномен, причем, согласно Дж. Лакоффу [5], значение включает интенциональность и человеческое понимание.

С одной стороны, когнитивная семантика находится в весьма тесных взаимоотношениях с такими психологическими областями, как когнитивная психология [6] и психосемантика [7]. Последняя изучает генезис, строение и

© Тарасов В.Б., 2018

функционирование индивидуальной системы значений в процессах восприятия, мышления, принятия решений и т. д. Ее ключевые методы — биполярные личностные конструкты, семантическое пространство и семантический дифференциал.

С другой стороны, когнитивная семантика неразрывно связана с идеями когнитивной логики [8; 9] и моделями понимания [10; 11]. В контексте поддержки понимания важную роль играют графические средства, включая иллюстративную и когнитивную графику.

Настоящая работа состоит из пяти основных разделов. Первый раздел посвящен описанию концепции понимания агентом ситуации или поведения других агентов как оценки на базе образца. С целью показа различий между истинностными суждениями и оценками приведено базовое определение и компоненты оценок. Обсуждаются фреймовые и логические представления оценок, предложен вариант формализации норм как частного случая оценок.

Во втором разделе показана ключевая роль биполярных (оппозиционных) шкал для реализации единого подхода к моделированию вербально-логических и чувственных оценок в процессах познания и понимания. Главное место занимают трехэлементное представление базовой биполярной шкалы, задание лингвистической шкалы с помощью тройки исходных вербальных оценок и пары операций сдвига, формализация процедуры оценивания на шкале в виде псевдологической матрицы, моделирование семантического пространства как системы биполярных шкал на базе произведений булевых и псевдобулевых решеток.

В третьем разделе описаны варианты классификации биполярных шкал по критериям силы связи между полюсами и статуса нейтрального значения шкалы. Введена базовая полурешетка неопределенности и двойственная полурешетка информативности для «черно-белой шкалы». При описании как обычных, так и деформированных состояний биполярных шкал используются расщепленные отрицания, получаемые по принципу циклических отрицаний Поста.

В четвертом разделе рассмотрена проблема сочетания дескриптивных и нормативных моделей при синтезе и анализе функционирования индивидуальных агентов, а также при их общении типа «объяснение — понимание». На примере применения разных систем модальностей при формализации автономного агента показана необходимость построения комбинированных и гибридных логик для адекватного моделирования действий и поведения агента. Дан краткий обзор основных направлений и методов создания комбинированных и гибридных логик.

В завершающем пятом разделе предлагается единый подход к многозначному представлению семантики систем (четверок) модальностей разных классов. На базе отношений двух биполярных шкал введены биупорядоченные множества и две решетки модальностей, даны цветные представления компонентов оппозиционных шкал, а также модальных значений. Показано, что множество модальных значений вместе с двумя порядками образует

предбирешетку. В результате обоснована общая стратегия моделирования истинностных суждений и модальных оценок когнитивного агента с использованием формального аппарата решеток, предбирешеток и бирешеток.

1. Понимание как оценка на основе образца

В соответствии с [12] будем определять понимание агента как *универсальную когнитивную операцию*, которая выступает оценкой объекта (текста, поведения, ситуации, явления природы) с определенных позиций, на основе некоторого образца, стандарта, нормы, принципа и т.п. По сути, данное определение выражает общую идею понимания как сравнения, сопоставления с образцом. Эта трактовка понимания — *аксиологическая*, т.е. опирается на теорию ценностей, поскольку любая оценка подразумевает подведение под ценность (или вывод из принятых ценностей с помощью общих правил).

Аксиологическая концепция понимания основана на принципе единства понимания и оценки, сформулированном одним из классиков герменевтики В. Дильтеем. В развитие этого принципа основоположник современной *диалогики* М.М. Бахтин писал, что безоценочное понимание невозможно [13]. Нельзя разделить понимание и оценку: они одновременны и составляют единый целостный акт.

Уровень понимания агентом стоящей перед ним задачи можно определить оценкой *результатов* его действий, причем они не должны противоречить нормам поведения агентов.

Поиск стандарта оценки (нормы) и обоснование его приложения к конкретной ситуации — базовые операции, делающие понимание возможным. Непонимание чаще всего обусловлено необоснованностью, неочевидностью или отсутствием такого стандарта.

Итак, *оценкой* (или оценочным суждением) называется высказывание, которое устанавливает абсолютную или сравнительную ценность некоторого объекта. Оценки обычно включают следующие компоненты [14]: 1) субъект (или агент) оценки, т.е. лицо или группа лиц, приписывающая ценность некоторому объекту; 2) предмет оценки, т.е. объекты, которым приписывают ценность, или объекты, ценности которых сопоставляются; 3) характер оценки (например, абсолютная или сравнительная, положительная или отрицательная оценка); 4) шкала оценки, например униполярная или биполярная шкала; 5) основание оценки (явление или ситуация, в рамках которой производится оценивание). Таким образом, любую оценку можно представить фреймом-прототипом: {Оценка, ⟨Кто (агент оценки),… ⟩, ⟨Что (Кого) (объект оценки),… ⟩, ⟨Какая (тип оценки),…⟩, ⟨Как (шкала оценки,…)⟩ ⟨ Почему (основание оценки,…⟩}.

Оценки часто выражаются с помощью *аксиологических* (оценочных) *модальностей*: как абсолютных («хорошо», «плохо», «безразлично»), так и относительных («лучше», «хуже», «равноценно»). По Г.Х. фон Вригту [15], связь между абсолютными и относительными оценками может задаваться следующим образом: q — «хорошо», если q — «лучше, чем его отрицание $\neg q$».

Могут привлекаться и праксеологические модальности: «полезно-вредно», «эффективно-неэффективно» и пр. Для правильного понимания оценок важную роль играет прагматика, контекст, в котором они формулируются.

Средство, превращающее оценку в норму, — угроза наказания, т. е. стандартизация норм осуществляется с помощью санкций. Так, еще К. Менгер установил прямую связь между предписанием $\Box q$ («обязательно q») и «если не q, то наказание или ухудшение» (см. [14]). Нормы и стандарты служат основой для выработки требований и предписаний. Их обычно представляют деонтическими модальностями O — «обязательно», P — «разрешено», $З$ — «запрещено» из системы $M_д$. Также предписания выражают с помощью глаголов «может» и «должен».

Формально норма как предписание к действию задается четверкой $NORM = \langle A, act, W, M \rangle$, где A — множество агентов, которым адресована норма, act — содержание нормы, например, действие или поступок — объекты нормативной регуляции, ACT — множество действий (поступков) агентов, $act \in ACT$, M — множество систем модальностей, связанных с действием, в частности, $M_d = \{O, P, З\}$.

2. Понимание и биполярные шкалы

Познание связано у агента с пониманием двусторонних отношений: с одной стороны, для понимания необходимы исходные знания, когнитивные возможности и языковые структуры, но с другой — сама возможность понимания ситуации и результативность действий во многом зависит от достигнутого уровня предпонимания. При этом, наряду с символьными, имеются и чувственные механизмы понимания, основанные на оценочной функции эмоций.

Как знания, так и чувства могут быть представлены с помощью системы биполярных (или оппозиционных) шкал и различения ситуаций или результатов действий агента с помощью оценок на этих шкалах. Со времен Ч. Осгуда известно понятие *семантического пространства*, которое строится в виде совокупности таких оппозиционных шкал, понимаемых как образующие единой модели мира. Концевые значения этих шкал соответствуют полярным оценкам, выражаемым с помощью слов-антонимов, например «хороший — плохой», «сильный — слабый», «большой — малый» и т. п. (рис. 1). Так *качественная оппозиционная шкала* задается тройкой {+, 0, –}, где знак + соответствует положительной области шкалы, знак — задает отрицательную область, а 0 — среднюю (нейтральную) точку. Эта точка очень важна, поскольку от ее интерпретации зависит тип шкалы [2].

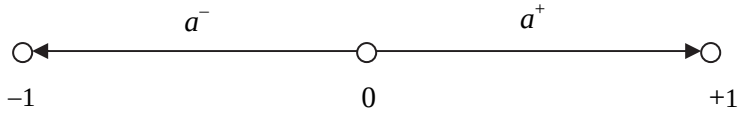


Рис. 1. Представление базовой оппозиционной шкалы

В простейшем случае примитивную двузначную булеву решетку **2** = {–1,+1} можно отождествить с вырожденной оппозиционной шкалой без явно заданной середины. В логике еще Аристотель выделил два вида противоположностей: контрарные и контрадикторные, например «хороший — плохой» и «хороший — нехороший». Полюса оппозиционной шкалы — это контрарные противоположности, расположенные симметрично по отношению к центру шкалы, т. е. переход от одной противоположности к другой есть зеркальное отражение, инверсия биполярной шкалы. Здесь операция отрицания означает жесткую оппозицию или поляризацию оценок, где $\neg(+1) = -1$, что можно описать частицей «Анти»: отрицание оценки *a* есть (Anti *a*). Напротив, контрадикаторные (или комплементарные) противоположности соответствуют дополнению к *a*, т. е. частице «Не»: отрицание оценки *a* есть (Not *a*). Середину шкалы можно определить как нейтральное значение «Нейтр»: (Neutr *a*) есть «ни *a*, и ни Анти *a*».

Большой практический интерес вызывают многомерные булевы шкалы оценок 2^n, *n* — целое число шкал, в частности декартово произведение двух 2×2 или трех 2^3 простейших шкал (см., например, [16; 17]). Пусть *P* и *З* — контрарная пара деонтических модальностей, а логическая пара «истина — ложь» трактуется как «действие выполнено» и «действие не выполнено». Тогда легко построить декартово произведение двух простейших булевых шкал $\{0, 1\}\times\{0, 1\}=\{P, З\}\times\{T, F\}$ как четырехзначную решетку $\{(P, T), (P, F), (З, T), (З, F)\}$.

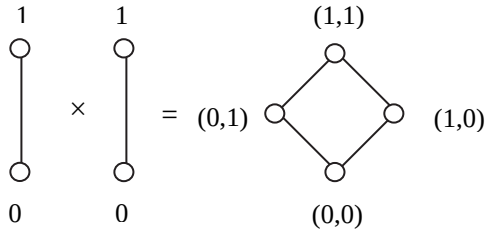


Рис. 2. Декартово произведение булевых шкал

Построение базовой оппозиционной шкалы предполагает представление в явном виде нейтрального значения. Тогда шкалу можно задать трехэлементной решеткой{–1, 0, +1} или {0, 0,5, +1}(логическая решетка Лукасевича). При нескольких промежуточных шкальных значениях используют L_5 = {–1, –0,5, 0, +0,5, +1} и L_7 = {–3, –2, –1, 0, +1, +2, +3}. В общем случае, классическая биполярная шкала задается линейно упорядоченным множеством с нейтральным (центральным) элементом *c*, т. е. тройкой $\langle L, >, c\rangle$, где $\neg c = c$, а отношение линейного порядка антирефлексивно, антисимметрично, транзитивно и полно. Алгебраическое представление биполярной шкалы есть нормальная алгебра де Моргана (алгебра Клини).

Два главных класса оппозиционных шкал — количественные, метрические биполярные шкалы и качественные (как лингвистические, так и образные) биполярные шкалы. Для метрических биполярных шкал можно определить расстояние между любыми двумя элементами шкалы, причем сумма расстояний от любого элемента шкалы до ее концов равна общей длине шкалы.

Лингвистическая оппозиционная шкала задается пятеркой $\langle a^+, a^-, c, s_p, s_c \rangle$, где a^+и a^- — пара исходных оценок-антонимов, например «большой» и «малый»), c — нейтральное значение, например «средний», а s_p и s_c — две операции сдвига. Здесь s_p — операция поляризации (растяжения полюсов), а s_c — операция центрирования (сдвига оценок к центру). Это представление иллюстрирует природу числа Миллера: $m = 7 \pm 2$. В случае лингвистической шкалы операции s_p отвечает модификатор «очень» (very), а операции s_c — модификатор «более или менее» (rather). Примеры переходов между полюсами на биполярных шкалах даны на рисунке 3.

Рис. 3. Примеры переходов между полюсами на биполярных шкалах: символьная шкала «от хаоса к порядку»; образная шкала (явление бистабильности восприятия)

В общем случае процедура оценивания на шкалах может быть описана формально псевдологической матрицей [18] (здесь приставка «псевдо» характеризует замену при оценивании истинностного аспекта ценностным в исходном представлении А. Тарского): $\Delta = \langle L, D, \Omega \rangle$, где решетка L задает область оценок (шкалу); $D \subset L$ — выделенное подмножество области оценок (набор эталонов); Ω — множество допустимых операций над оценками (нульарных, унарных, бинарных,…, n-арных).

3. Варианты классификации биполярных шкал

Различные виды оппозиционных шкал можно определить с помощью следующих критериев [2; 19]: а) сила связи между положительными и отрицательными областями шкалы; б) статус нейтрального значения. В случае сильной оппозиции между полюсами отрицательная часть шкалы — зеркальное отражение положительной части, и эти две области считаются взаимно исключающими. Ослабление оппозиции соответствует возможности одновременного сосуществования положительных и отрицательных оценок, а в

дальнейшем возникают новые связи между ними (примерами могут служить связи между сильными положительными и слабыми отрицательными модальностями).

В 1994 г. Д.А. Поспелов ввел два типа биполярных шкал — «серые» и «черно-белые» [2]. Поясним их различие на следующем примере. Пусть биполярная шкала строится на базе пары антонимов «большой (+) — малый (–)». В случае серой шкалы наблюдается плавный переход от положительных оценок «+» к отрицательным оценкам «–» и наоборот. В нейтральной точке имеем противоречивую оценку «и большой, и малый», т.е. в ней оба антонима представлены в равной степени.

Будем обозначать через $\uparrow$ и $\downarrow$ соответственно увеличение и уменьшение оценки a на шкале. Для серой шкалы:

1) $a^+\uparrow \Rightarrow a^-\downarrow$, $a^-\uparrow \Rightarrow a^+$ (принцип взаимной компенсации положительных и отрицательных оценок: чем больше a^+, тем меньше a^-, и, наоборот, чем больше a^-, тем меньше a^+;

2) нейтральная точка c есть точка наибольшего противоречия, где a^+ и a^- равны между собой;

3) $a^+ = -a^-$.

Напротив, для черно-белой шкалы нейтральная точка понимается как точка разрыва (полная неопределенность: «ни малый, ни большой»); ее окрестность может трактоваться как область хаоса, где возможно формирование нового смысла путем перескока с одной шкалы на другую. Шкала разделяется на две независимые половинки. Здесь уже взаимно не компенсируются положительные a^+ и отрицательные a^- оценки. Чем ближе обе оценки a^+ и a^- к точке разрыва черно-белой шкалы, тем неопределеннее становятся их значения.

Таким образом, для черно-белой шкалы вместо обычного отношения линейного порядка, индуцирующего цепь, следует определить отношение порядка по неопределенности, которое индуцирует верхнюю базовую полурешетку SL_c, где $+1 < 0$ и $-1 < 0$, $(-1) \sim (+1)$, или обратное отношение порядка по информативности, задающее нижнюю базовую полурешетку SL_i: $+1 > 0$ и $-1 > 0$, $(-1) \sim (+1)$) (рис. 4).

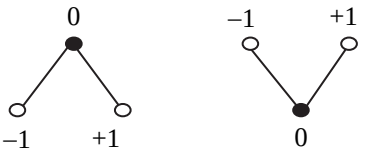


Рис. 4. Две базовые полурешетки для черно-белой шкалы

В работе [19] Д. Дюбуа и А. Прад выделили три типа оппозиций: 1) симметричные оппозиции; 2) двумерные однородные оппозиции; 3) неоднородные оппозиции. Канонический пример симметричной оппозиции — шкала «истина — ложь» в классической логике, где $F(p) = 1 - T(p)$, $\forall p \in P$.

Теория вероятности также опирается на оппозицию первого типа с нейтральным значением, поскольку для $\forall p \in 2^P$, вероятностная мера $Pr(p) \in [0,1]$, причем $Pr = 1$ означает полную определенность наступления события, $Pr = 0$ характеризует невероятное событие, а нейтральное значение $Pr = 0{,}5$ соответствует полной неопределенности относительно появления или непоявления события p.

Двумерные оппозиции относятся к оценкам на двух разных биполярных шкалах, связанных между собой отношением двойственности. Типичные примеры — соотношения между слабыми и сильными модальностями в модальных логиках. Так, в алетической логике имеем: $\Diamond p \rightarrow \neg \Box \neg p$ (из возможности p вытекает проблематичность, т. е. ненеобходимость его отрицания). Аналогичное соотношение выполняется между мерами возможности Л. Заде $\Pi(p)$ и необходимости $N(p)$ [20]: $N(p) = 1 - \Pi(\neg p)$, $\forall p \in 2^P$.

Оппозиции второго типа хорошо известны в моделях аргументации, где любой объект оценивается с двух сторон: множество доводов разбиваются на аргументы «за» и «против». Задача аргументации состоит в обосновании тезиса с помощью набора аргументов с целью его принятия или опровержении этого тезиса на базе хотя бы одного контраргумента.

Наконец, неоднородные оппозиции возникают тогда, когда отрицательная область биполярной шкалы не является зеркальным отражением положительной области, причем сами оценки имеют различную природу. Следуя идее логической многомерности Н. А. Васильева [21], возьмем логический треугольник с тремя типами суждений: положительными, отрицательными и индифферентными. Здесь оценка истинности может трактоваться как отношение, причем понятие «ложь» — не более простое дополнение истины, а независимое понятие. Соответственно условия ложности суждений или оценок надо определять параллельно с условиями их истинности, т. е. имеем пару $(T(p), F(p))$, где T — значения истинности, а F — значения ложности предложения p, $(T, F) \subset [0, 1]^2$, $T + F \leq 1$ [22]. Данные два условия определяют интуиционистскую семантику двумерных оппозиций.

При учете индифферентных высказываний $I(p)$ переходим к нейтрософской семантике оппозиций, выражаемой тройкой $(T(p), F(p), I(p)) \subseteq [0, 1]^3$ [23]. В целом движение по этому пути ведет к построению многомерных (векторных) логик и семантик [24].

Рис. 5. Пример деформированного состояния оппозиционной шкалы

Также хороший пример неоднородной оппозиции — образная шкала на рисунке 3.

Еще одно важное основание для классификации биполярных шкал — состояние шкалы: обычное или деформированное (рис. 5). Обычное состояние биполярной шкалы соответствует статическим взаимоотношениям между полюсами, а де-

формированное состояние характеризует динамику шкалы, выражающуюся в движении полюсов, переходе от одного полюса к другому или переходе от одной интерпретации нейтральной точки к другой.

Среди преобразований биполярных шкал особый интерес представляет рассмотренная Д. А. Поспеловым деформация типа скручивания, когда оппозиция полюсов ослабевает, и они как бы склеиваются, образуя новый полюс, а бывшая нейтральная точка также превращается в полюс [2]. Подобное «напряженно-деформированное» состояние шкалы может привести к синергетическим эффектам и формированию новых дополнительных шкал в семантическом пространстве.

Из рисунка 5 видно, что этим состояниям отвечают различные виды операций отрицания. Построим расщепленную операцию отрицания (табл. 1) для трехзначных логик на оппозиционных шкалах. Здесь операция $\neg$ консервативна (сохраняет свойства отрицания в обычной двузначной логике), будучи зеркальным отражением относительно неподвижной точки 0, и представляет собой аналог отрицания в трехзначной логике Лукасевича. В свою очередь, левое $\neg_l$ и правое $\neg_r$ циклические отрицания неконсервативны и аналогичны отрицаниям Поста в трехзначной логике (рис. 6).

Таблица 1

Расщепленное отрицание для оппозиционной шкалы

p	$\neg$	$\neg_l$	$\neg_r$
+1	–1	0	–1
0	0	–1	+1
–1	+1	+1	0

Помимо уже упомянутых интерпретаций нейтральной точки как противоречия и полной неопределенности, в трехзначных логиках известны и другие интерпретации: бессмыслица в логике Д. А. Бочвара B_3, возможность (или случайность) в логике Лукасевича L_3. Во всех этих логиках нейтральность есть неподвижная точка. В то же время в интуиционистских логиках Гейтинга H_3 и Брауэра Br_3 нейтральность трактуется соответственно как половинчатая истина и половинчатая ложь. В логике H_3 отрицание половинчатой истины есть ложь, а в логике Br_3 отрицание половинчатой лжи есть истина. Таким образом, симметрия между областями истинности и ложности на оппозиционной шкале нарушается. Для n-значных обобщений этих логик H_n и Br_n (n-значных биполярных шкал) работают принципы «всё, что не ложь, есть истина» и «всё, что не истина, есть ложь». Алгебраическим примером интуиционистских логик служат решетки Гейтинга.

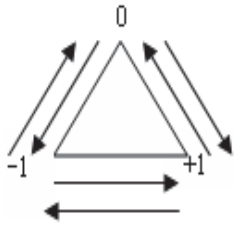


Рис. 6. Отрицание Поста

4. Логическое моделирование агентов: комбинированные и гибридные логики

Функционирование любого когнитивного агента опирается как на *описания*, так и *предписания*. И описания, и предписания отражают информацион-

ные отношения между агентом *a* и его средой: в первом случае — это информация о состояниях среды, воспринимаемых агентом, а во втором случае — о возможных действиях *d* агента на эту среду (рис. 7).

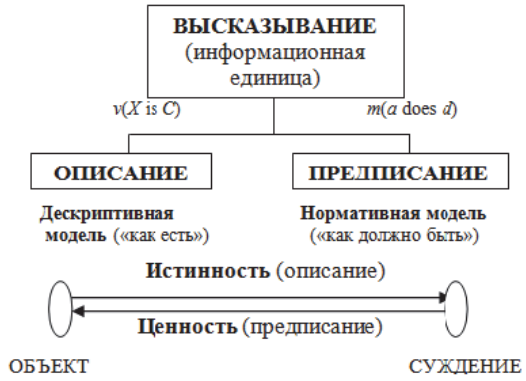


Рис. 7. Сочетание описаний и предписаний в информационной структуре когнитивного агента

Еще в XVIII в. Д. Юм сформулировал знаменитый принцип о том, что невозможно с помощью одной логики перейти от утверждений со связкой «есть» к утверждениям со связкой «должен». В более широком контексте его можно интерпретировать так: нельзя смешивать дескриптивные и нормативные модели в «одном бокале».

Но хотя предписания и не сводимы к описаниям, следует попытаться найти принципы перехода и аналогии при их формализации в контексте теории агентов. Здесь примерами могут служить: а) принцип перехода от логики описаний к деонтической логике $p \rightarrow \bigcirc p$, где $\bigcirc$ — сильный положительный деонтический оператор, $\bigcirc p$ означает «обязательно p»; б) принцип перехода от деонтической к алетической логике: $\bigcirc p \rightarrow \Diamond p$.

Использование логик как средств представления знаний в искусственном интеллекте часто требует интеграции разных логических систем в однородной или неоднородной среде. Классический пример комбинированной логики — эротетическая логика (логика анализа вопросов), интегрирующая эпистемическую и деонтическую логики. Еще один известный случай — BDI-логики [25], описывающие интегрированные модели мнений, желаний и намерений агента.

Ниже подробнее рассмотрим аналогии между описаниями и предписаниями в информационной структуре когнитивного агента, приведенной на рисунке 7. С одной стороны, сведения агента о мире выражаются истинностными суждениями описательного характера, т. е. фактов или высказываний вида $f = X$ *есть* C со значениями истинности $v \in V$. Истинностные суждения могут применяться и при формализации действий агента. Так, согласно [15], императивные аналоги истины и лжи — понятия выполнения и невыполнения. Действие выполняется (не выполняется) тогда и только тогда, когда описывающее его содержание предложение становится истинным (ложным).

С другой стороны, различные запросы, предписания, требования со стороны пользователя или других агентов выступают как внешние источники целеобразования и регуляторы поведения агента. Требование или предписание можно записать в виде m (*a делает d*), $d \in D$, где D — множество действий, а m есть модальная составляющая предписания, например, m_1 — «должен», m_2 — «может».

Из рисунка 7 видно, что истинность суждения агента может пониматься как соответствие между объектом внешнего мира и его внутренним представлением агентом (первичен объект). В то же время модальная оценка ценности, полезности, важности предписания предполагает первичность требования или нормы, распространяемой на некоторый класс действий агента.

При формализации когнитивных агентов следует совместно использовать как доксастические модальности (модальности мнения), так и деонтические модальности (модальности действий и норм). К числу модальностей мнения относят слова: «уверен», «предполагаю», «сомневаюсь», «отвергаю». В частности, исходное мнение агента может выступать как *предположение* (гипотеза) — предварительное (возможное) представление агента о мире и других агентах, которое выдвигается в интересах запуска механизма действия, направленного на его подтверждение, т. е. формирование *уверенности*.

Аналогичные двойственные связи между истинностью и ценностью мнений, дедукцией и индукцией, примерами и образцами прослеживаются в русле одной из самых распространенных схем взаимодействия когнитивных агентов: диады «объяснение — понимание» (рис. 8).

Рис. 8. Различие и взаимосвязь между объяснением и пониманием в процессе взаимодействия когнитивных агентов

Объяснение есть рассуждение, посылки которого содержат информацию, достаточную для выведения из нее описания объясняемого явления. Объяснение связывает объясняемое явление с другими явлениями (событиями) реального мира и указывает на закономерный характер этих связей.

Объяснение и понимание часто трактуют как две универсальные операции мышления, взаимно дополняющие друг друга [14]. Объяснение, рассматриваемое как подведение объясняемого явления под характерный пример или общую истину, опирается на описание и обеспечивает понимание, а понимание как подведение под общее правило или стандарт имеет нормативную базу (рис. 8). При этом оценка уровня понимания вносит свои коррективы в характер объяснения.

Итак, классический вариант объяснения — объяснение на примерах. Пример принципиально отличается от образца. *Пример* говорит о том, что имеет место в действительности, а *образец* — о том, что должно быть. Иными словами, примеры используются для поддержки описательных суждений, а ссылки на образцы служат как обоснование правил и норм.

Таким образом, логическое моделирование когнитивных агентов предполагает решение двух важных проблем: 1) разработка единого подхода к представлению описаний и предписаний (иначе говоря, интеграция дескриптивных и нормативных моделей для обеспечения успешной индивидуальной и совместной работы агентов); 2) интеграция модальностей разных классов путем комбинирования и гибридизации логик.

Первоначально термин «гибридные логики» относился к различным расширениям модальных логик, направленным на достижение большей выразительной силы по сравнению с обычными модальными логиками. Базовую гибридную логику можно получить путем добавления в модальную логику так называемых номиналов — пропозициональных символов другого сорта, каждый из которых истинный только в одном возможном мире. Предыстория гибридных логик восходит к работам А.Н. Прайора по модальной логике времени с двумя дополнительными операторами *Future* и *Past*.

В работе [26] содержится подробный обзор истории и современного состояния исследований в области построения комбинированных и гибридных логик. В частности, выделены такие методы интеграции модальных логик, как произведения [27], слияние (fusion) [28], расслоение (fibring) логик [29]. Как пример рассмотрим метод слияния нормальных модальных логик [28] — один из первых общих методов комбинирования логик, основанный на модели С. Крипке.

Моделью Крипке называется тройка $<W, R, V>$, где W — множество возможных миров, $R \subseteq W \times W$ — бинарное отношение достижимости между мирами, а $V: P \to 2^W$ — функция оценки, т.е. функция из множества пропозициональных переменных в множество всех подмножеств возможных миров.

Пусть M_1 и M_2 — классы моделей Крипке для логик Λ_1 и Λ_2. Если Λ_1 и Λ_2 — две нормальные модальные логики с операторами необходимости $\Box_1$ и $\Box_2$ соответственно, то слияние Λ_1 и Λ_2 на семантическом уровне есть нормальная бимодальная логика Λ, определенная на языке с двумя независимыми боксами $\Box_1$ и $\Box_2$ вместе со связками $\neg$, $\to$. Ее семантика представляет собой структуру Крипке вида $<W, R_1, R_2, V>$, где $<W, R_1, V>$ и $<W, R_2, V>$ принадлежат M_1 и M_2 соответственно.

В свою очередь, произведение модальных логик позволяет отобразить пространственно-временную информацию. Произведение двух модальных логик Λ_1 и Λ_2 есть также бимодальная логика Λ, которая строится следующим образом: $<W_1 \times W_2, R'_1, R'_2, V_1 \times V_2>$, где $<W_1, R_1, V_1>$ и $<W_2, R_2, V_2>$ — модели Крипке для логик Λ_1 и Λ_2 соответственно. Здесь отношения достижимости

R'_1, $R'_2 \subseteq (W_1 \times W_2) \times (W_1 \times W_2)$ определяются следующим образом: (u_1, u_2) $R'_1(w_1, w_2)$, тогда и только тогда, когда $u_1 R_1 w_1$ и $u_2 = w_2$; (u_1, u_2) $R'_2 (w_1, w_2)$ тогда и только тогда, когда $u_2 R_2 w_2$ и $u_1 = w_1$.

В 2000-е гг. предложены теоретико-категорные подходы к интеграции и гибридизации логик, которые позволяют комбинировать не только модальные, но также многозначные и другие виды неклассических логик [26].

5. Многозначное представление модальностей на основе пары оппозиционных шкал

Воспользуемся классической стратегией интеграции многозначных логик, предложенной С. Яськовским. Пусть имеются m-значная логическая система X и n-значная логическая система Y. Тогда можно построить $(m \times n)$-значную систему как декартово произведение $Z = X \times Y$. Здесь значения истинности определяются покоординатно, т. е. задаются парами — элементами декартова произведения $X_V \times Y_V$, где X_v — множество значений истинности системы X, а Y_V — множество значений истинности системы Y.

Идея декартова произведения логик нашла широкое применение при построении комбинированных логик. В первую очередь умножение логических матриц $LM_1 \times LM_2$ служит удобным способом получения новых матриц с большим числом логических (истинностных или модальных) значений.

В последние два десятилетия всё более популярным становится алгебраическое представление логик с помощью решеток. Пусть L и K — решетки. Прямым произведением $L \times K$ двух решеток называется множество всех упорядоченных пар (x, y), где $x \in L$, $y \in K$. Здесь $(x_1, y_1) \leq (x_2, y_2)$ тогда и только тогда, когда $x_1 \leq x_2$ в L и $y_1 \leq y_2$ в K. Операции пересечения $\wedge$ и объединения $\vee$ решеток задаются покоординатно: $(x_1, y_1) \wedge (x_2, y_2) = (x_1 \wedge x_2, y_1 \wedge y_2)$, $(x_1, y_1) \vee$ $\vee (x_2, y_2) = (x_1 \vee x_2, y_1 \vee y_2)$.

Еще Г. Биркгоф [30] доказал, что прямое произведение любых двух решеток есть решетка. При $L = K$ имеем степени решетки L^n, в том числе L^2. Ниже при построении единого подхода к разным классам модальностей будем опираться на пару булевых шкал — примитивных решеток вида $\{0,1\} \times \{0,1\}$.

Возьмем в качестве двух базовых характеристик любой модальности ее «знак» и «силу», т. е. пару оппозиций «положительная — отрицательная», «сильная — слабая». Тогда имеем в простейшем случае четырехзначное множество модальностей $M_4 = \{SP, WP, WN, SN\}$, где SP — сильная положительная модальность; WP — слабая положительная модальность; WN — слабая отрицательная модальность; SN — сильная отрицательная модальность.

Перейдем к соответствующему двухкоординатному описанию модальностей в единичном квадрате (рис. 9): $SP = (1, 1)$, $WP = (0, 1)$, $SN = (1, 0)$, $WN = (0, 0)$. Любое суждение $p \in P$ с модальностями m можно представить в виде пары: $s = \langle p, m(p) \rangle$, $s \in S$, $m(p)$ — функция модальной мультиоценки предложения p, m: $P \rightarrow M_4$.

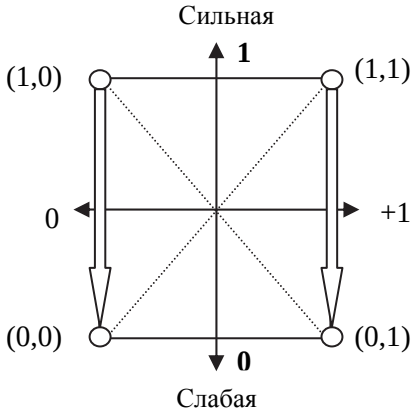


Рис. 9. Двухкоординатное представление модальностей на двух булевых шкалах «сильная — слабая» и «положительная — отрицательная»: пунктиром даны связи между противоположными модальностями одного класса, а символ ⇒ означает импликацию

Предложения по единому наглядному цветовому представлению четырех базовых модальных значений для различных классов модальностей сведены в таблице 2.

Примеры различных классов модальностей, представимых по единой схеме на двух булевых шкалах, даны в таблице 3. Из рисунка 9 и таблицы 3 видно, что модальные характеристики разных классов обладают общими формальными свойствами. Независимо от того, к какой группе относятся модальности, они определяются друг через друга по одной и той же схеме. В частности, $\neg SP = WN$ (отрицание сильной положительной модальности есть слабая отрицательная модальность), $\neg WN = SP$ (отрицание слабой отрицательной модальности есть сильная положительная модальность), $\neg WP = SN$ (отрицание слабой положительной модальности — сильная отрицательная модальность), $\neg SN = U$ (отрицание сильной отрицательной модальности — слабая положительная модальность).

Таблица 2

Цветное представление модальных оценок

Виды модальностей	Цвет
SP	Зеленый
WP	Светло-зеленый
SN	Красный
WN	Розовый

Типичные примеры интерпретации этих определений — связи между слабой нормой и сильной антинормой («то, что не разрешено, запрещено») и наоборот («то, что не запрещено, разрешено»).

Связи между модальностями могут задаваться и с помощью бинарных операций, например $WP = SP \vee WN$ (слабая положительная модальность выражается как дизъюнкция сильной положительной и слабой отрицательной).

Таблица 3

Общий способ представления разных классов модальностей

Сильная положительная модальность (1, 1)	Слабая положительная модальность (0, 1)	Слабая отрицательная модальность (0, 0)	Сильная отрицательная модальность (1,0)	Классы модальностей
Необходимость	Возможность	Случайность	Невозможность	Алетические
Уверенность	Предположение	Сомнение	Отвержение	Доксастические
Обязанность	Разрешение	Безразличие	Запрещение	Деонтические
Доказуемость	Разрешимость	Опровержимость	Неразрешимость	Эпистемические

Для различных классов модальностей естественно сформулировать принцип модальной непротиворечивости $\neg(SP \wedge SN) = \neg SP \vee \neg SN$. Например, суждение не может быть логически необходимым и логически невозможным; действие не может быть одновременно и обязательным, и запрещенным. Также выполняется соотношение $\neg(SP \vee SN) = \neg SP \wedge \neg SN = WN$ (слабая отрицательная модальность есть антидизъюнкция сильной положительной и сильной отрицательной модальности, например «не уверен и не отвергает, значит, сомневается»).

Теперь на произвольном непустом конечном множестве модальностей M два различных отношения порядка $\leq_K$ и $\leq_B$ следующим образом: $\forall p,\ q \in P$, $p = (x_1,\ y_1)$, $q = (x_2,\ y_2)$, $p \leq_K q \Leftrightarrow x_1 \leq x_2$ и $y_1 \leq y_2$; $p \leq_B q \Leftrightarrow x_1 \leq x_2$ и $y_1 \geq y_2$. Интерпретации этих двух порядков могут быть различными, например порядок сильной нормы и порядок слабой нормы, порядок необходимости (определенности) и порядок возможности, порядок знаний и порядок мнений и пр. В русле описания агентов будем понимать обозначение $\leq_K$ как порядок знаний, а $\leq_B$ — как порядок мнений (предположений). Следует отметить важность этого порядка для теории агентов, поскольку любая активность агента начинается со слабой положительной модальности WP: вначале следует определить возможность действия и получить разрешение на его осуществление, сформулировать предположение о вариантах выполнения действия, которое нуждается в подтверждении или опровержении, и т. д.

В частности, для M_4 имеем $WN <_K SN <_K SP$, $WN <_K WP <_K SP$, $SN \sim_K WP$ и $SN <_B SP <_B WP$, $SN <_B WN <_B U$, $SP \sim_B WP$.

Итак, математическая структура $\langle M, \leq_K, \leq_U \rangle$ — *биупорядоченное множество*, поскольку здесь M есть непустое множество, а $\leq_K$ и $\leq_B$ — два различных отношения порядка. Нетрудно убедиться в том, что в случае M_4 упорядоченные множества $\langle M_4, \leq_K \rangle$ и $\langle M_4, \leq_B \rangle$ образуют полные решетки $ML4$ и $ML4^*$ (рис. 10), похожие на логическую решетку Белнапа и аппроксимационную решетку Скотта (здесь решетка $ML4^*$ получается из $ML4$ поворотом против часовой стрелки на 90°).

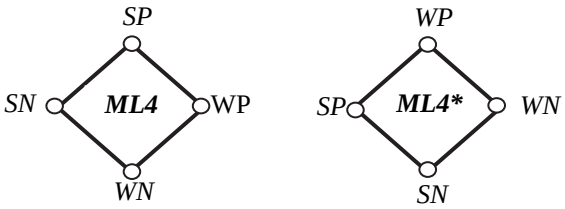


Рис. 10. Решетки модальностей *ML*4 и *ML*4*

Биупорядоченное множество называется *предбирешеткой* [31] (Prebillatice), если M есть непустое множество, содержащее, по крайней мере, два элемента, а оба его упорядоченных множества образуют полные решетки.

Утверждение. Множество M_4 вместе с введенными на нем двумя отношениями $\leq_K$ и $\leq_B$ образует *предбирешетку*.

Доказательство этого утверждения сводится к проверке выполнения условий биупорядоченности и полноты решеток *ML*4 и *ML*4*.

Если биупорядоченное множество $\langle M, \leq_K, \leq_B\rangle$ — предбирешетка, то на нем можно задать две пары операций пересечения и объединения: $\vee$ и $\wedge$ как взятие точной верхней и точной нижней граней на решетке $\langle X, \leq_K\rangle$, и $\oplus$, $\otimes$ — как взятие точной верхней и нижней граней на решетке $\langle X, \leq_B\rangle$. По М. Фиттингу, предбирешетка называется сплетенной (interlaced prebilattice), если каждая из четырех операций $\wedge$, $\vee$, $\otimes$, $\oplus$ монотонна по отношениию к $\leq_K$ и $\leq_B$ [31].

Согласно М. Гинсбёргу [32], *бирешетка* — четверка $BL = \langle X, \leq_1, \leq_2, \neg\rangle$, где $X \neq \varnothing, |X| \geq 2$, $\leq_1$, и $\leq_2$, — два различных отношения порядка, заданных на множестве X, а $\neg$ есть отрицание Гинзбёрга — расширение неоднородного отрицания Белнапа и удовлетворяет условиям антитонности по одному порядку, монотонности по другому порядку и инволютивности.

Замечание. Структура $\langle M, \leq_K, \leq_B\rangle$ не есть бирешетка, поскольку здесь не выполняется условие связи между двумя порядками (отрицание в модальных логиках однородно и не является отрицанием Гинзбёрга).

Заключение

В статье изложены модели познания и понимания для создания искусственных когнитивных агентов, основанные на биполярных шкалах, многозначных семантиках и прагматиках, решетках и предбирешетках. Дальнейшие исследования связаны с построением различных наглядных и абстрактных моделей синтеза и анализа многозначных и многомерных логик для моделирования индивидуальной и групповой деятельности когнитивных агентов. Планируется также разработка элементов графического языка [33] на базе цветных представлений биполярных шкал, диаграмм Хассе и логико-семиотических миров.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект №16-11-00018 и РФФИ, проект №17-07-01374

Список литературы

1. *Поспелов Д.А.* Знания и шкалы в модели мира// Модели мира. М. : РАИИ, 1997. С.69—84.

2. *Поспелов Д.А.* «Серые» и/или «черно-белые» // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». 1994. № 1. С.29—33.

3. *Поспелов Д.А.* Метафора, образ и символ в познании мира // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 1. С.94—114.

4. *Кузнецов О.П.* Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32—42.

5. *Лакофф Дж.* Женщины, огонь и опасные вещи: Что категории языка говорят нам о мышлении / пер. с англ. М. : Языки славянской культуры, 2004.

6. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания : в 2 т. М. : Академия, 2006. Т.1.

7. *Петренко В.Ф.* Основы психосемантики. 2-е изд. СПб. : Питер, 2005.

8. *Wang P.* Cognitive Logic vs Mathematical Logic // Lecture Notes of the 3rd International Seminar on Logic and Cognition. Guangzhou, China, 2004. Available online.

9. *Tarassov V.B.* Information Granulation, Cognitive Logic and Natural Pragmatics for Intelligent Agents // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. Iss. 2. Minsk : BSUIR Publishers, 2018. P. 45—54.

10. *Тарасов В.Б.* Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы V междунар. науч.-техн. конф. (OSTIS-2015, Минск, БГУИР, 19—21 февраля 2015 г.). Минск : БГУИР, 2015. С. 25—42.

11. *Валькман Ю.Р., Исмагилова Л.Р.* Интеллектуальные системы: о моделировании понимания // Труды международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы-2004» и «САПР-2004» (IEEE AIS'04-CAD-2004, Дивноморское, 3—10 сентября 2004 г.). М. : Физматлит, 2004. Т.1. С. 160—167.

12. *Ивин А.А., Никифоров А.Л.* Словарь по логике. М. : ГИЦ ВЛАДОС, 1997.

13. *Бахтин М.М.* К методологии гуманитарных наук // Эстетика словесного творчества. М. : Искусство,1979. С. 361—373, 409—412.

14. *Ивин А.А.* Логика оценок и норм. Философские, методологические и прикладные аспекты. М. : Проспект, 2016.

15. *Вригт фон Г.Х.* Логико-философские исследования. Избранные труды / пер. с англ. М. : Прогресс, 1986.

16. *Лефевр В.А.* Алгебра совести. М. : Когито-центр, 2003.

17. *Таран Т.А.* Многозначные булевы модели рефлексивного выбора // Рефлексивное управление. М. : Институт психологии РАН, 2000. С. 122—132.

18. *Тарасов В.Б.* От алгебраической модели Тарского к логико-семиотической матрице // Труды 9-й национальной конференции по искусственному интеллекту (КИИ-2004, Тверь, 28 сентября—2 октября 2004 г.). М. : Физматлит, 2004. Т. 1. С. 311—322.

19. *Dubois D., Prade H.* Bipolar Representation in Reasoning, Knowledge Extraction and Decision Processes // Proceedings of International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing / S.Greco et al. (eds.); LNCS. Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. Vol.4259. P. 15—26.

20. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / пер. с фр. М. : Радио и связь, 1990.

21. *Васильев Н.А.* Воображаемая логика. М. : Наука, 1989.

22. *Atanassov K.T.* Remark on Intuitionistic Fuzzy Logic and Intuitionistic Logic // Mathware and Soft Computing. 1995. Vol. 2. P. 87—96.

23. *Schumann A., Smarandache F.* Neutrality and Many-Valued Logics. Santa Fe, NM : American Research Press, 2007.

24. *Аршинский Л.В.* Векторные логики: основания, концепции, модели. Иркутск : Изд-во ИрГУ, 2007.

25. *Meyer J.-J.C., Broersen J., Herzig A.* BDI Logics // Handbook of Logics of Knowledge and Beliefs. Utrecht: Utrecht University Repository, 2015. P. 453—498.

26. *Karnielli W.A., Coniglio M.E.* Combining Logics. URL: http://plato.stanford.edu/entries/logic-combining.

27. *Segerberg K.* Two-Dimensional Modal Logic // Journal of Philosophical Logic. 1973. Vol. 2(1). P. 77—96.

28. *Thomason R.* Combinations of Tense and Modality // Handbook of Philosophical Logics / D.M. Gabbay, F. Guenthner (eds.). Dordrecht: D. Reidel, 1984. Vol. 2. P. 135—165.

29. *Gabbay D.M.* Fibring Logics. Oxford : Clarendon Press, 1999.

30. *Биркгоф Г.* Теория решеток / пер. с англ. М. : Наука, 1984.

31. *Fitting M.* Bilattices and the Theory of Truth // Journal of Philosophical Logic. 1989. Vol. 18. P. 225—256.

32. *Ginsberg M.* Multivalued Logics: a Uniform Approach to Reasoning in Artificial Intelligence // Computational Intelligence. 1988. Vol. 4. P. 265—316.

33. *Колесников А.В., Листопад С.В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы 3-й Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием (Светлогорск, 6 июня—11 июня 2016 г.). Калининград : Изд-во БФУ им. Иммануила Канта, 2016. С. 8—56.

Г.В. Рыбина

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

e-mail: galina@ailab.mephi.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИОБРЕТЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ЗНАНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Введение

Динамические интегрированные экспертные системы (ИЭС), обладающие мощной функциональностью и развитой архитектурной типологией [1], сегодня активно востребованы в сфере коммерческих и промышленных приложений, широкая «география» которых охватывает почти все значимые сектора экономики и производства. Однако величина эффекта от создания и применения интеллектуальных систем в целом, а также динамических ИЭС в част-

© Рыбина Г.В., 2018

ности во многом зависит от современных инструментальных средств (ИС) как высокотехнологичной инструментальной базы для автоматизированной поддержки разработки интеллектуальных систем. Опыт разработки динамических ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии [1] и поддерживающего эту методологию инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [1—2], обеспечивающего автоматизированную поддержку процессов прототипирования и сопровождения прикладных ИЭС на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ), показал, что по ряду критериев (формализмы представления знаний, механизмы рассуждений, объектно-ориентированная технология и др.) средства текущей версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ не уступают лидеру зарубежных коммерческих ИС для разработок динамических интеллектуальных систем — системе G2 (Gensym Corp., USA), а по критерию, связанному с наличием встроенной подсистемы имитационного моделирования внешнего мира, значительно превосходят систему G2.

Важно отметить, что система G2 и другие ИС не обладают средствами автоматизированного приобретения знаний, а комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ поддерживает разработанный в рамках задачно-ориентированной методологии оригинальный комбинированный метод приобретения знаний (КМПЗ) [1—3], развитие которого позволило автоматизировать в том числе процессы приобретения недостоверных и темпоральных знаний из различных источников знаний и их синергию со средствами моделирования внешнего мира, что существенно повышает эффективность разработки баз знаний (БЗ) в ИЭС различной типологии и уровня сложности.

В фокусе внимания данной работы находятся вопросы, связанные с анализом результатов в области автоматизированного построения БЗ в динамических ИЭС на основе создания так называемой *темпоральной* версии КМПЗ [4—6].

1. Особенности представления и обработки темпоральных знаний

Важную роль в контексте системного подхода и создания целостной методологии построения динамических ИЭС играют тесно взаимосвязанные подходы к получению, представлению и обработке *темпоральных* знаний (т. е. знаний, содержащих время как сущность). Поскольку особенности реализованных в рамках задачно-ориентированной методологии базовых моделей представления знаний и методов вывода (универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ) детально описаны в [1—2], то рассмотрим только темпоральные аспекты, связанные с обобщением базовой модели вывода для случая темпорального вывода, отметив при этом, что в соответствии с [1] мощность базовой модели вывода заключается в возможности учета наличия в БЗ *недостоверных* знаний (т. е. знаний, содержащих такие НЕ-факторы, как *неопределенность*, *неточность*, *нечеткость* и *недоопределенность* частных знаний).

Обобщенная модель темпорального вывода на продукционных правилах для динамических ИЭС предусматривает обработку знаний, содержащих темпоральные зависимости, совместно с базовыми знаниями о проблемной

области (ПрО) [1], т. е. формально данная модель темпорального вывода представляется в виде [7]: $I' = <V, S, R, W, D>$,где V — процесс выбора активных правил из БЗ, необходимых для решения задачи в очередном цикле работы интерпретатора, т. е. подмножество БЗ, правила из которого могут быть применены, если пройдут этап сопоставления; S — процесс сопоставления *посылок* активных правил с состоянием рабочей памяти (РП), включающий построение интерпретации *модели развития событий*, сопоставление *темпоральных* и *нетемпоральных* частей правил, а также различные преобразования НЕ-факторов знаний (неопределенность, неточность, нечеткость), в том числе фаззификацию; R — процесс разрешения конфликтов, определяющий выбор применяемого на текущем шаге вывода правила из списка успешно прошедших сопоставление; W — процесс выполнения *следствия* выбранного при сопоставлении правила с вычислением истинности следствия, учитывая НЕ-факторы; D — процесс дефаззификации фаззифицированных в ходе вывода значений параметров.

Таким образом, этап сопоставления дополняется процессами, обеспечивающими модификацию интерпретации *модели развития событий* и сопоставление темпоральных частей посылок активных правил. Вывод осуществляется независимо на каждом такте работы, причем общая часть — интерпретация модели развития событий, модифицирующаяся в рамках каждого такта. Кроме того, при интеграции механизмов базового (АТ-РЕШАТЕЛЬ [1]) и темпорального выводов [7] особое внимание уделялось таким аспектам вывода, как: реализация операции модификации интерпретации развития событий; проведение операции сравнения локальных моделей развития событий в правилах с глобальной интерпретацией модели развития событий для всех типов темпоральных высказываний.

Поскольку цели темпорального вывода — построение интерпретации текущего развития событий в ПрО и генерация списка управляющих воздействий для ПрО (или модели ПрО), то для реализации темпорального вывода была выбрана модифицированная логика Аллена [8] и логика управления во времени [9]. Модель развития событий задается совокупностью темпоральных объектов (событий и интервалов), локальная модель развития событий в правиле — формулами логики Аллена, а интерпретация модели специфицируется временами возникновения событий и временами начал и окончаний интервалов.

Соответственно для представления темпоральных знаний в динамических ИЭС создан расширенный язык представления знаний (ЯПЗ) [1; 2; 7], позволяющий представлять темпоральные знания совместно с базовыми, в том числе содержащими знания с неопределенностью, неточностью и нечеткостью. Для этого в базовый ЯПЗ [1] были введены: новые типы объектов (событие и интервал), новые типы атрибутов (логические выражения для условий возникновения), изменена структура посылки правил (добавлены требования по локальной модели развития событий) и появились новые типы правил (*обычное*, *периодическое*, *реакция*).

Важно отметить, что управление во времени [9] потребовало введения в расширенном ЯПЗ новых типов правил, которые должны обеспечивать быстрое реагирование на определенные (обычно экстренные) события ПрО («правила-реакции»), а также отслеживать определенные циклы в работе («периодические правила»). «Правила-реакции» в целом соответствуют модифицированной логике Аллена и представляют собой правила, содержащие в посылке условия из элементарных формул, являющихся одиночным темпоральным объектом (событием или интервалом). В расширенном ЯПЗ для представления «периодических правил» у правила ЯПЗ вводится новый атрибут ТИП, способный принимать одно из двух значений — «обычное» и «периодическое». Посылки периодических правил несут в себе дополнительное условие — период выполнения. Следовательно, применение модифицированной логики Аллена позволило описывать темпоральные зависимости между объектами ПрО непосредственно внутри правил, причем отслеживание проявлений таких зависимостей обеспечивает принятие решений с учетом текущего развития событий в ПрО.

Что касается разработанного метода обработки темпоральных знаний, позволяющего производить вывод на основе знаний, содержащих темпоральные зависимости, то основные изменения в рамках модели вывода связаны с необходимостью на этапе сопоставления выполнять формирование интерпретации развития событий и обработку темпоральной части посылок продукционных правил. При формировании интерпретации развития событий происходит привязка *событий* и *интервалов*, определенных в ПрО, к временной оси путем идентификации фактов их возникновения на основе имеющихся в РП данных и рассмотрения истории возникновения в прошлом. Обработка темпоральной части посылок продукционных правил опирается на результат формирования интерпретации развития событий в ПрО. Для активных правил решается задача проверки соответствия локальных моделей развития событий, описанных с помощью модифицированной логики Аллена и логики управления во времени, с построенной интерпретацией.

Таким образом, обеспечивается синергия универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ [1; 2] и темпорального решателя [7], что позволяет поддерживать решения задач как в статических, так и в динамических ПрО. Темпоральный решатель выполняет решение двух задач — построение *интерпретации* модели развития событий в ПрО и означивание темпоральной части продукционных правил (особенности программной реализации АТ-РЕШАТЕЛЯ и темпоралного решателя описаны в [1; 2; 7]). Вопросы, связанные с моделями, методами, алгоритмами и программными средствами для имитационного моделирования поведения в реальном времени сложных дискретных систем, которые выступают источником входных данных (параметров) для реализации темпорального вывода в динамических ИЭС, детально рассмотрены в ряде работ, например [2] и др.

2. Особенности приобретения темпоральных знаний из различных источников знаний

В работах [4—6] неоднократно рассматривались вопросы возрастания значимости и роли степени автоматизации труда экспертов, в том числе за счет разработки методов и средств извлечения (выявления) *темпоральных* знаний из ЕЯ-текстов (в контексте технологии Text Mining и автоматической обработки ЕЯ-текстов) и из темпоральных БД (в контексте технологий Data Mining и KDD). В мировой практике существует значительное количество подходов к приобретению темпоральных зависимостей, однако все они ориентированы на автоматическую обработку только англоязычных ЕЯ-текстов, и практически не рассматриваются вопросы получения темпоральных знаний для построения темпоральных БЗ в динамических интеллектуальных системах, в частности в динамических ИЭС.

В этой связи следует отметить, что при разработке статических ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии достаточно высокую эффективность показал базовый КМПЗ [2; 3], осуществляющий в автоматизированном режиме полный цикл построения и верификации БЗ путем прямого интервьюирования экспертов на ограниченном ЕЯ (подъязык деловой прозы) и приобретения знаний из БД, зарегистрированных в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Базовая версия КМПЗ и средства его реализации уже много лет успешно применяются для автоматизации процессов разработки БЗ в статических ПрО, составляя ядро автоматизированного рабочего места инженера по знаниям на основе инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Сегодня поддерживается *распределенный* вариант компьютерного приобретения знаний [2; 4], обеспечивающий в рамках клиент-серверной архитектуры интеграцию разных источников знаний (эксперты, ЕЯ-тексты, БД) с учетом их географической распределенности.

В динамических ИЭС ситуация значительно сложнее, поскольку методы автоматизированного выявления темпоральных знаний из источников знаний различной типологии (эксперты, ЕЯ-тексты, темпоральные БД) остаются пока малоисследованной проблемой. Так, для извлечения информации о времени из ЕЯ-текстов на русском языке пока предложены только единичные, узкоспециализированные подходы к частичной автоматизации этих процессов, например [10; 11]. Поэтому в исследованиях последних лет значительное внимание уделялось вопросам дальнейшей эволюции КМПЗ и создания так называемой «темпоральной версии» КМПЗ разработкой новых методов и средств автоматизированного построения *темпоральных* БЗ в динамических ИЭС.

Рассмотрим особенности базового КМПЗ — неотъемлемой части задачно-ориентированной методологии построения ИЭС. В основе подхода к процессам *прямого* получения знаний от экспертов организацией компьютерного интервьюирования на всех этапах ЖЦ построения ИЭС лежит подход «ориентации на модель решения типовой задачи» (автор Г. В. Рыбина) [1], в соответствии с которым *управляющие* знания о стратегиях (методах) решения конкретных классов задач, решаемых схожим образом, оформляются в виде некоторой эвристической модели *типовой задачи* (диагностика, проектиро-

вание, планирование и др.). Поэтому процессы получения знаний управляются с помощью наборов моделей решения типовых задач, для чего наработаны и постоянно развиваются методы и алгоритмы создания сценариев диалогов с экспертами, отражающих как *тематическую структуру* диалога (т. е. схему решения типовой задачи), так и *локальную структуру* диалога (шаги диалога), т. е. набор конкретных действий и реакций между экспертом и системой.

Компьютерное моделирование процессов получения знаний позволяет в процессе диалога с экспертами строить и означивать все компоненты модели решения типовой задачи и формировать фрагменты *поля знаний* (промежуточное представление структурированных знаний, используемое для верификации информации, полученной из различных источников) и соответствующие фрагменты БЗ [1]. Для построения схемы «действие — реакция» партнеров используется несколько техник реализации, например метод «имитация консультации» и др. Процессы интервьюирования экспертов осуществляются с помощью интерпретатора *сценариев диалога*, каждый из которых соответствует конкретному типу решаемой задачи, а также предусмотрены специальные экранные формы для ввода *недостоверных* знаний (неопределенность, неточность, нечеткость). В составе средств программной поддержки базового и распределенного КМПЗ важное место занимает специализированный лингвистический процессор и совокупность динамически пополняемых словарей [1; 2].

В общем случае модель базового КМПЗ представляется в виде [1—3]: $M = <N, S, F, K, Z>$, где N — неструктурированные описания ПрО (знания экспертов, документы, БД); S — структурированные описания ПрО (поле знаний); F — процедуры отображения N в S; K — процедуры конвертации поля знаний в форматы ЯПЗ различных ИС для построения ИЭС (зарегистрированных в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ); Z — фрагменты полученных БЗ.

Особую роль в модели КМПЗ выполняет компонент S, предназначенный для промежуточного представления множества структурированных знаний — *поля знаний*, основные базовые элементы которого — *объекты* и связывающие их *правила*. Каждый объект соответствует одному или нескольким ответам на вопрос, задаваемый эксперту в течение текущего сеанса интервьюирования. Тематическая структура диалога и содержание вопросов к эксперту ориентированы на то, чтобы каждый ответ эксперта интерпретировался как имя объекта, имя атрибута, имя типа атрибута, значение или диапазон значений атрибута и как информация, входящая в посылку или действие другого элемента внутреннего представления — правила.

Важная особенность КМПЗ заключается также в том, что он интегрирует тесно связанные между собой процессы компьютерного интервьюирования экспертов с методами обработки ЕЯ-текстов (вводимых как в течение сеанса интервьюирования, так и после окончания в виде протоколов интервьюирования экспертов), а также с методами приобретения знаний из БД (распределенный КМПЗ) [3—4].

С учетом всех «темпоральных» модификаций, введенных в расширенном ЯПЗ [7], процесс формирования объектов и правил поля знаний в темпораль-

ной версии КМПЗ опирается на возможность введения таких сущностей ПрО, как *события и темпоральные интервалы*, а также на добавление в посылки правил связей между этими сущностями. Сформированные фрагменты поля знаний конвертируются в соответствующие элементы либо базового ЯПЗ, либо расширенного ЯПЗ предусмотренных задачно-ориентированной методологией и поддерживаемых соответственно АТ-РЕШАТЕЛЕМ и темпоральным решателем [1; 2; 7].

Соответственно при переходе от базового (локального) варианта приобретения знаний к распределенному варианту и темпоральной версии множество базовых процедур F пополняется процедурами, связанными с получением описаний из распределенных источников, сопоставлением фрагментов поля знаний различных типов, в том числе темпоральных, объединением элементов поля знаний, уточнением описаний и др. [3; 4].

Для создания методики выявления и интерпретации в рамках одного предложения простейших *темпоральных указателей* (т. е. самостоятельных слов и отдельных словосочетаний, обозначающих время) были использованы обобщенные классификации категорий темпоральных указателей в ЕЯ-текстах [10; 11] и расширенная база конкретных русскоязычных лексем, указывающих на темпоральные отношения [10; 11]. В языковых экспериментах и модельных диалогах применялась лингвистическая модель подъязыка деловой прозы и специализированный лингвистический процессор [1—3], а в качестве эвристической модели типовой задачи — задача медицинской диагностики и модифицированные сценарии тематической и локальной структуры диалога [5; 6].

Технологическая часть при создании темпоральной версии КМПЗ (локальный вариант) связана с расширением функциональности специализированного лингвистического процессора и средств поддержки интервьюирования экспертов (входящих в состав средств поддержки КМПЗ) путем модификации базовых и разработки новых методов и алгоритмов обработки темпоральной информации, содержащейся в ЕЯ-текстах подъязыка деловой прозы, применяемых в процессах прямого извлечения знаний из экспертов, что включает: расширение языка описания сценариев диалога, использующегося для описания локальной структуры диалога, и разработку новых экранных форм; разработку словаря темпоральных лексем для подъязыка деловой прозы (медицинская диагностика); разработку алгоритма обработки темпоральной информации и др.

Теперь рассмотрим кратко особенности приобретения знаний из темпоральных БД. Базовая функциональность средств поддержки *распределенной* версии КМПЗ значительно расширена за счет разработки новых алгоритмов приобретения знаний из темпоральных БД, в частности реализован и экспериментально исследован известный алгоритм Random Forest [12], модифицированный для поддержки работы с темпоральными БД [13]. Суть модификации заключалась в использовании *многомерного* пространства признаков, один из которых — временная метка. Ансамбль деревьев решений строится в соответствии с базовым алгоритмом [12], однако расчет значения критерия

разбиения претерпел изменения, обусловленные использованием многомерного пространства признаков (критерий разбиения — среднее арифметическое вычисленных значений информационной энтропии, а дерево строится до тех пор, пока не будут обработаны все элементы подвыборки и без применения процедуры отсечения ветвей [6]).

Для преобразования построенного ансамбля деревьев решений в форматы поля знаний используются сервисные объекты, включая [6]: основной объект, содержащий в качестве атрибутов всё пространство признаков; специальный служебный объект — счетчик, предназначенный для отсчета времени с момента начала; специальный служебный объект — счетчик голосов, обеспечивающий подсчет голосов деревьев. Таким образом, каждая листовая вершина преобразуется в *правило* следующего вида: если длительность всех интервалов, соответствующих вершинам на пути от корня к текущему листу, больше нуля, то значение счетчика голосов за класс, который соответствует данной вершине, увеличивается.

Важная проблема после получения нескольких фрагментов поля знаний, содержащих темпоральную информацию из источников различной типологии (эксперты, БД), — необходимость сопоставления и объединения описанных в каждом фрагменте поля знаний объектов, их типов и правил. Здесь с учетом «темпоральной составляющей» использовались методы, алгоритмы и программные средства, разработанные для распределенного КМПЗ [3; 4], доказавшие свою эффективность при разработке прикладных ИЭС. Вопросы верификации полученных знаний как важного этапа построения БЗ — отдельная тема и здесь не рассматриваются.

Заключение

В настоящее время создан прототип темпоральной версии КМПЗ, для которой программно поддерживаются все основные функциональные возможности, включая приобретение знаний из БД на фрагментах БД по медицинской тематике. Экспериментальные исследования показали, что применение распределенного варианта КМПЗ, в котором темпоральные БД использовались в качестве дополнительных источников знаний, способно пополнить объем разрабатываемых БЗ на 12—25 %. При этом в среднем все разрабатываемые БЗ при использовании БД в качестве дополнительного источника знаний были пополнены на 15 %.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-01-00457).

Список литературы

1. *Рыбина Г.В.* Теория и технология построения интегрированных экспертных систем : монография. М. : Научтехлитиздат, 2008.

2. *Рыбина Г.В.* Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах. М. : Научтехлитиздат, 2014. Кн. 1: Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы.

3. *Рыбина Г.В.* Комбинированный метод приобретения знаний для построения баз знаний интегрированных экспертных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 8. С. 19—41.

4. *Rybina G.V., Deineko A.O.* On a Common Approach to Joining Productive Rules Obtained from Different Knowledge Sources // Scientific and Technical Information Processing. 2013. Vol. 40, No. 5. P. 1—6.

5. *Рыбина Г.В., Данякин И.Д.* Особенности приобретения темпоральных знаний в динамических интегрированных экспертных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. № 8. С. 3—14.

6. *Rybina G.V., Danyakin I.D.* Combined Method of Automated Temporal Information Acquisition for Development of Knowledge Bases of Intelligent Systems // Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Knowledge Engineering and Applications. L. : IEEE, 2017. P. 117—123.

7. *Рыбина Г.В., Мозгачев А.В.* Реализация темпорального вывода в динамических интегрированных экспертных системах // Искуственный интеллект и принятие решений. 2014. № 1. С. 34—45.

8. *Allen J.F.* Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the Association for Computing Machinery. 1983. Vol. 22. P. 832—843.

9. *Осипов Г.С.* Динамические интеллектуальные системы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 47—54.

10. *Ефименко И.В.* Семантика времени: модели, методы и алгоритмы идентификации в системах автоматической обработки естественного языка // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Лингвистика». 2007. № 2. С. 179—185.

11. *Логический* анализ языка: Язык и время / отв.ред.: Н.Д. Арутюнова, Т.Е. Янко. М. : Индрик, 1997.

12. *Tzacheva A.A., Bagavathi A., Ganesan P.D.* MR — Random Forest Algorithm for Distributed Action Rules Discovery // International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP). 2016. Vol. 6, № 5. P. 15—30.

13. *Kaufmann M., Manjili A., Vagenas P. et al.* Timeline Index: A Unified Data Structure for Processing Queries on Temporal Data in SAP HANA // Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. N.Y., NY : ACM, 2013. P. 1173—1184.

И.Б. Фоминых[1], Н.П.Алексеев[2]
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
e-mail: [1]igborfomin@mail.ru, [2]alekseevnp@list.ru

ОБ ИСЧИСЛЕНИИ ЭМОЦИЙ

Введение

По мнению многих специалистов, кардинальное расширение возможностей компьютера связано прежде всего с отображением в нем образных, интуитивных, рефлексивных и эмоциональных механизмов мышления и поведения. В данной работе рассмотрим концептуальные основы исчисления эмоций, базирующиеся на принципе максимума информации [1; 2].

© Фоминых И.Б., Алексеев Н.П., 2018

Известно, что в эмоциях довольно ясно просматриваются два типа: динамические *эмоции* — удовольствие и страдание, связанные с конкретными стимулами и реакциями; длительные устойчивые *эмоциональные состояния* («настроения») — усредненный ответ на некоторую стационарную среду — множество более или менее регулярно действующих и чередующихся стимулов.

Если *эмоции* связаны с *динамикой* поведения, с реакцией на отдельные конкретные стимулы, то *эмоциональные состояния* обусловлены главным образом *статистическими* закономерностями, имеют усредненный и, как следствие, более длительный и устойчивый характер. Примером эмоциональных состояний могут служить «настроения» (радость, печаль, тревога и т. п.).

Будем исходить из того, что эмоции — инструмент оптимального управления поведением, играющие роль обобщенных сил, направляющих субъект к скорейшему достижению максимума его целевой функции L [3; 4]. Согласно принципу максимума роль такой целевой функции играет взаимная информация между реакциями субъекта и свойствами его окружения. В частности, это социальное окружение, другие субъекты. Если поведение субъекта направлено на максимизацию некоторой целевой функции L, то увеличение этой целевой функции должно сопровождаться положительными эмоциями, уменьшение — отрицательными. Поскольку L зависит от некоторых переменных x^i, то эмоции вызываются изменениями этих переменных. В частности, такой переменной может быть и целевая функция другого субъекта. Поэтому выражение, определяющее величину и знак эмоции, может быть записано в следующем виде:

$$e = \frac{dL_i}{dt} = \frac{dL_i}{dx^i}\frac{dx^i}{dt}, \tag{1}$$

где dL_i означает изменение L, обусловленное изменением переменной x^i.

Однако таким образом выявляются только простейшие, первичные эмоции (удовольствие и страдание), обусловленные непосредственно изменением L. Более сложные формы эмоций определяются отношением субъекта к этим первичным эмоциям.

Далее кратко рассмотрим основные положения алгебры эмоций и классификации эмоций как оценок [5; 6].

1. Алгебра эмоций

Алгебра эмоций позволяет вычислять величину и знак сложной эмоции с помощью простых операций над ее составляющими. Эта алгебра существует объективно как существенная сторона самого механизма эмоций, изначально предназначенного именно для количественных оценок. Результат вычислений — величина эмоции и ее знак — положительный или отрицательный. Исходя из некоторых предположений, эта алгебра реализуется в мозгу в аналоговой форме с помощью нейроподобных структур (распределенных вычислительных структур). В сущности, это не что иное, как сеть причинных связей, т. е. структура достаточно универсальная.

В общем случае под оценкой будем понимать следующее: если некоторое количество dx^i обменивается на другое количество dx^j, то отношение

$$c_{ij} = \frac{dx^i}{\partial x^j} \tag{2}$$

и есть оценка — относительная ценность единицы dx^j, выраженная в единицах dx^i. Например, если dx^j — товар, а dx^i — деньги, то c_{ij} — цена единицы товара, выраженная в деньгах. Можно сказать, что и сама эмоция — это оценка единицы времени dt в единицах такой переменной, как целевая функция dL.

Для построения алгебры эмоций (оценок) вводятся операции сложения и умножения оценок, умножения оценки на число. Очевидно, что при определении оценки в виде соотношения (2) среди оценок существуют единица и нуль, а это значит, что будут существовать и оценки, обратные друг другу.

Если представить вычислительную структуру в виде сети, то операция сложения (в общем случае — взвешенного) реализуется посредством параллельного соединения ее звеньев, когда несколько входных переменных x^i воздействуют на одну выходную x^j:

$$dx^j = S_i c_{ij} dx^i .$$

Операция умножения оценок осуществляется путем последовательного соединения звеньев:

$$\partial x^k = \frac{\partial x^k}{\partial x^i}\partial x^i = \frac{\partial x^k}{\partial x^j}\frac{\partial x^j}{\partial x^i}\partial x^i = c_{ki}\,\partial x^i = c_{kj}c_{ji}\partial x^i .$$

Откуда $c_{ki} = c_{kj}c_{ji}$.

В этой работе рассмотрим не столько величину оценки, сколько ее знак. Поэтому введем обозначения, которые облегчат работу со знаками. В дальнейшем знак оценки будем писать в явном виде — справа и сверху от нее, причем знак произведения определяется по известным правилам алгебры. Тогда $c_{kj}^{-}c_{ji}^{-} = c_{ki}^{+}$.

Отметим, что рефлексивный характер оценок дает возможность обращения процесса оценки на сами оценки и делает всю систему чрезвычайно гибкой и сложной. Способность воспринимать чувства другого и претворять эти чувства опять же в форму эмоций — основа развития системы эмоций, от самых простых до все более сложных, которые служат регулятором социальных отношений.

2. Классификация эмоций

Подход к эмоциям как к системе оценок позволяет построить дерево эмоций на основе рефлексивности оценок. Первичной переменной в дереве эмоций служит целевая функция, а исходной величиной для оценки — скорость

изменения целевой функции. Построение дерева эмоции начнем с его корня. Исходная переменная в этом дереве — целевая функция L^i субъекта *i*, а исходной величиной для оценки — скорость ее изменения $\frac{dL^i}{dt}$, которая и есть первичная эмоция e_i. Она может быть положительной («удовольствие» e_i^+) или отрицательной («страдание» e_i^-). В силу связей, существующих между переменными сети, эта эмоция может передаваться на изменения других переменных и придавать им соответствующую окраску.

Пусть, например, состояние субъекта *i* связано с состоянием субъекта *j*. Если e_i — эмоция, испытываемая субъектом *i*, а c_{ji} — оценка субъекта *i* субъектом *j*, то величина

$$e_{ji} = c_{ji} e_i$$

может быть интерпретирована как оценка субъектом *j* эмоции, пережинаемой субъектом *i*. При этом величина и знак эмоции e_{ji} получаются путем соответствующего перемножения. Поскольку c_{ji} и e_i могут быть как положительными, так и отрицательными, то эмоция e_{ji} имеет четыре возможных состояния: 1. $e_{ji}^+ = c_{ji}^+ e_i^+$. Субъект *i* испытывает удовольствие, субъект *j* относится к субъекту *i* положительно и потому радуется его удовольствию (радость); 2. $e_{ji}^- = c_{ji}^+ e_i^-$. Субъект *i* испытывает страдание, субъект *j* относится к субъекту *i* положительно, и потому его страдание доставляет ему огорчение (сочувствие); 3. $e_{ji}^- = c_{ji}^- e_i^+$. Субъект *i* испытывает удовольствие, но субъект *j* относится к нему отрицательно и потому испытывает по этому поводу страдание (зависть, досада); 4. $e_{ji}^+ = c_{ji}^- e_i^-$. Субъект *i* испытывает страдание, субъект *j* относится к субъекту *i* отрицательно и потому испытывает радость по этому случаю (злорадство).

Можно ввести третий субъект *k*, который наблюдает за субъектами *i* и *j* и дает оценку чувствам последнего. Формула такой оценки:

$$e_{kji} = c_{kj} c_{ji} e_i, \tag{3}$$

где c_{kj} — отношение субъекта *k* к субъекту *j*.

Кроме опосредованного отношения *k* к субъекту *i* (через субъект *j*) у *k* может быть и собственное непосредственное отношение c_{ki} к субъекту *i*. Поэтому результирующая эмоциональная оценка ситуации субъектом *k* будет равна сумме обеих оценок — опосредованной и непосредственной:

$$e_k = c_{kj} c_{ji} e_i + c_{ki} e_i = (c_{kj} c_{ji} + c_{ki})\, e_i. \tag{4}$$

Формулы (3), (4) позволяют получать сложные, опосредованные эмоциональные оценки на основе простых и непосредственных.

Например, радость субъекта *j* по поводу несчастья субъекта *i* («злорадство») может оцениваться субъектом *k* как положительно, так и отрицательно — в зависимости от того, каковы оценки самих субъектов *i* и *j* субъек-

том *k*. Если субъект *i* — друг *k*, а субъект *j* — его враг, то его радость будет воспринята субъектом *k* однозначно негативно (возмущение, негодование). Если субъект *i* — враг, а субъект *j* — друг, то его радость будет воспринята субъектом *k* с сочувствием и пониманием. Если же оба субъекта — и *i*, и *j* — друзья субъекта *k*, то эмоциональная оценка ситуации субъектом *k* будет противоречивой. Это будет смесь различных чувств.

Поскольку отношение c_{kj} субъекта *k* к субъекту *j* может иметь два значения, положительное и отрицательное, а e_{ji} уже имеет четыре значения, то число возможных значений оценки c_{kji} возрастает до восьми, а при добавлении непосредственной оценки c_{ki} — до шестнадцати. Вообще с удлинением цепочки оценок число качественно различных эмоциональных состояний в огромной степени возрастает.

Система оценок не остается постоянной, она, подобно многим другим системам, эволюционирует в сторону централизации. Так, в системе оценок сначала каждый субъект *k* непосредственно оценивает другого субъекта *i*, исходя из своих личных интересов. Но затем возникает некая авторитетная инстанция *j*, которая начинает играть роль оценочного центра. Такой инстанцией может быть отец в семье, начальник в коллективе, общественное мнение, обычай, идеология, закон, наконец — Абсолют. Целевая функция и оценка, даваемые этим авторитетом, признаются обязательными для всех членов группы. Представление об этом авторитете в психике субъекта играет роль его нравственного сознания, совести, его «сверх-Я». Абсолют задает некоторое абсолютное начало отсчета для оценок. Оценка, даваемая субъектом *k* субъекту *i*, — относительная и зависит от того, хорош или плох сам субъект *k*. Конечно, априори каждый склонен считать сам себя хорошим, пока ему не доказали обратное («презумпция позитивности»). Однако другие субъекты могут иметь на этот счет свое мнение. Наличие единого, всеми признаваемого Абсолюта кладет конец этому различию в оценках: отношение c_{ji}, авторитетной инстанции к субъекту *i*, может рассматриваться как абсолютная оценка субъекта *i* как «плохого» или «хорошего». Но и отношение c_{kj} субъекта *k* к абсолюту *j* будет характеризовать теперь уже не столько этот авторитет (он заведомо, по определению, позитивен), сколько самого субъекта *k* — как положительного или отрицательного. Кто хорошо относится к абсолюту, тот субъект хороший, а кто плохо — сам плохой.

3. Свойства эмоций

3.1. Связь эмоций с редкостью

По существу, эта связь между *положительной оценкой* объекта и его *редкостью*, которая хорошо подтверждается опытом: чем реже встречается предмет в нашем окружении, тем большее удовольствие — при прочих равных условиях — он доставляет нам при встрече. Это нашло отражение и в языке: слова «редкий», «исключительный», «уникальный» воспринимаются нами как похвала, как положительная оценка предмета или явления. И наоборот, слова «обыкновенный», «банальный» звучат как отрицательные оценки.

Редкостью объекта определяется и соотношение положительных и отрицательных эмоций при формировании таких различных мотиваций (влечений), как голод, жажда, секс, боль и т. п. Каждое такое влечение можно представлять себе в виде «тандема», состоящего из двух эмоций: отрицательной, «выталкивающей» организм из его действительного состояния, и положительной, притягивающей его в желаемое состояние. Так, в составе пищевой мотивации можно различить компоненты «голода» (отрицательная эмоция) и «аппетита» (положительная). Нетрудно убедиться, что в различных влечениях доля каждой компоненты далеко не одинакова: одни почти целиком состоят из отрицательной эмоции, другие — почти целиком из положительной, в третьих присутствуют в разных пропорциях и те и другие. Можно составить список, в котором некоторые наиболее известные влечения расположены в порядке возрастания в них доли положительных эмоций и уменьшения доли отрицательных: боль, удушье, жажда, голод и секс.

В самом деле, боль почти целиком состоит из одной отрицательной эмоции, избавляясь от боли, человек испытывает разве что облегчение, но не удовольствие. Напротив, секс почти целиком построен на положительных эмоциях, хотя нельзя, конечно, сбрасывать со счетов и «любовные страдания». Далее обратим внимание, что влечения в списке расположены в порядке возрастания «редкости» того объекта пли состояния, к которому направлены эти влечения. Действительно, в нормальной ситуации, чтобы избавиться от боли, часто достаточно бывает отдернуть руку от огня, поднять ногу с острого камня и т. п. Иначе говоря, состояний, где боль отсутствует, гораздо больше, чем тех, где она возникает (здесь не рассматривается боль, вызванная внутренними причинами). Таким образом, переход в желаемое состояние — в этом случае достаточно одних отрицательных эмоций. Напротив, пища или сексуальный партнер — объекты сравнительно редкие, для их достижения нужны положительные, притягивающие эмоции.

3.2. Роль ресурсов

Ресурсы также входят в целевую функцию, и для субъекта важно не только достижение цели, но и затраты ресурсов. При этом ресурсы — объекты двоякого отношения: 1) ресурс R выступает как средство достижения цели, в этом случае переменная R фиксирована, и всё, что может субъект, — это распределять наличные ресурсы среди различных реакций в соответствии с их эффективностью; 2) если заданное значение R — помеха для достижения целей субъекта (например, нехватка или избыток ресурсов), то они могут из средства превратиться в цель деятельности, т. е. R становится свободной переменной, и субъект сам выбирает ее оптимальное значение, обеспечивающее максимум целевой функции.

В обоих процессах эмоции играют важнейшую роль. Рассмотрим сначала случай распределения ресурсов. Отношение к той или иной реакции определяется ее эффективностью: приращением целевой функции в сравнении с затратами ресурсов. Эмоция позволяет субъекту судить, какая из реакций более

(или менее) эффективна и соответственно активировать, возбуждать первую и подавлять, тормозить вторую. Фактически такое возбуждение и торможение означает «выдачу» реакции необходимых энергетических ресурсов или отказ в них. Наиболее эффективные реакции получают ресурсы в первую очередь, наименее эффективные могут их не получить совсем. Подобно тому как банк дает деньги только на достаточно эффективные предприятия, обещающие прибыль, так и эмоции в первую очередь санкционируют снабжение ресурсами наиболее эффективные виды деятельности и, напротив, лишают ресурсов менее эффективные. Первое выражается в возбуждении, активации, второе — в торможении, релаксации соответствующих систем и органов.

Простейший, чисто механический пример: одно дело вкатывать камень в гору, когда он то и дело стремится скатиться обратно, и совсем другое — скатывать с горы, когда от малейшего толчка он сам движется куда надо. Эффективность деятельности во втором случае куда выше, соответственно и удовольствие — больше. Наказанием Сизифу служил не бесполезный труд сам по себе, а отрицательные эмоции — неизбежный спутник неэффективности. Вообще следует сказать, что всякого рода «усилители», повышающие эффективность наших действий, одновременно служат и источником удовольствия. Причем «усилители» следует понимать в широком смысле: в рассмотренном случае это гора, в другом — отзывчивая социальная среда или партнер, в третьем — технические устройства, повышающие силу, дальность, точность и другие характеристики наших действий.

Наконец, в выражение для эмоции входит такая поддающаяся управлению переменная, как R, характеризующая общий уровень располагаемых ресурсов. Отсюда вытекает еще одна функция эмоций — общее управление ресурсами: эмоция позволяет судить, будет ли в данных условиях полезно увеличение R (т. е. мобилизация ресурсов, напряжение) или, напротив, уменьшение R (демобилизация ресурсов, успокоение). Эта функция сходна с предыдущей и основана на тех же принципах: эффективные формы активности поощряются, неэффективные — подавляются. Но относится это не к отдельным реакциям, а к деятельности в целом. Поэтому управление осуществляется не выбором отдельных реакций, а изменением переменной R, характеризующей уровень мобилизации ресурсов, Такие эмоции, как страх, ярость, вдохновение, восторг, служат мобилизации ресурсов, тогда как усталость, апатия, скука, подавленность, разочарование ведут к демобилизации.

Обратим теперь внимание на роль дефицита ресурсов $Д$, который также входит в формулу для эмоций. Эта величина создает порог и сдвигает эмоциональный баланс в отрицательную сторону: чем больше $Д$, тем выше порог мобилизации, тем сильнее отрицательные эмоции и слабее положительные. Так, известно из опыта, что истощение, утомление, голод, дефицит кислорода, болезнь, старость и т. п. факторы, снижающие энергетические ресурсы организма, сопровождаются общей подавленностью, апатией, упадком настроения, когда всё раздражает, травмирует, всё видится в черном свете.

4. Эмоциональные состояния

Определим эмоциональное состояние через соответствие (или несоответствие) действий («реакций») субъекта условиям окружения («стимулам»). Согласно принципу максимума взаимной информации [1; 2], выражаемому соотношением

$$I(X,Y) = \sum_x \sum_y p(x,y) \log[p(x,y) / p(x)p(y)] = H(X) - H(X/Y) = \max_{p(x,y)},$$

где X,Y — случайные дискретные переменные. Мерой соответствия служит взаимная информация между стимулами и реакциями $I(X,Y)$, мерой несоответствия могут служить условные энтропии $H(X/Y)$ и $H(Y/X)$. Первая характеризует нескомпенсированное разнообразие стимулов (стимулы, на которые нет адекватных реакций), вторая есть разнообразие «излишних», невостребованных реакций.

Факторы, от которых зависит эмоциональное состояние, можно условно разделить на внутренние, характеризующие индивида, и внешние, характеризующие среду. К числу внутренних факторов относится прежде всего уровень активации — степень мобилизации энергетических ресурсов субъекта. Принято различать следующие уровни активации (в порядке возрастания активности): сон, дремота; спокойное бодрствование; активное бодрствование; напряженность (стресс). Остановимся кратко на двух крайних состояниях, в которых имеет место либо предельная мобилизация, либо предельная демобилизация ресурсов. В норме предельно низким уровнем активации у человека является сон; более низкие энергетические уровни (летаргия и пр.) рассматриваются уже как патология. Предельно высокий уровень активации ведет к резкому уменьшению разнообразия реакций — иногда вплоть до полного оцепенения (шок или ступор). И «ступор», и сон можно рассматривать как функциональные состояния, но лишь в отрицательном смысле — как «непригодность к функционированию». Оба они означают снижение разнообразия реакций человека до уровня, исключающего возможность его функционирования.

Уровень активации (и соответствующее ему разнообразие реакций $H(Y)$) служит основным внутренним фактором, определяющим функциональное состояние. Другой, внешний, фактор — состояние среды, в которой действует субъект и которое может быть охарактеризовано разнообразием стимулов $H(X)$. Классификация функциональных состояний определяется соотношением между этими двумя факторами и его динамикой. На этой основе можно выделить следующие типы функциональных состояний.

1. $H(X) > H(Y)$ — разнообразие внешних стимулов больше разнообразия реакций, субъект не имеет возможности адекватно отвечать на все внешние стимулы. Если причина этого дисбаланса — увеличение разнообразия внешних стимулов, то это состояние характеризуется как *напряженность*, стресс. Если причина дисбаланса — уменьшение разнообразия реакций (которое,

в свою очередь, может быть вызвано дефицитом ресурсов), то такое состояние может быть названо *истощением*. Одна из разновидностей истощения — *утомление* — истощение, вызванное самой деятельностью, однако могут быть и другие причины: голод, гипоксия, отравление, болезнь, старость и т. п.

2. $H(X) < H(Y)$ — разнообразие стимулов меньше разнообразия реакций. Если этот дисбаланс возникает за счет уменьшения разнообразия стимулов, то такое состояние принято называть *монотонией;* субъективно это состояние переживается как скука, вялость, апатия, сонливость. Монотония означает, что действующие стимулы исчерпали свой информационный потенциал; общий эмоциональный тон этого состояния — отрицательный. Если причина дисбаланса — увеличение разнообразия реакций сверх необходимого, то такое состояние оценивается как *беспокойство* (нервозность, суетливость).

3. Важную роль играет также фактор соответствия, обученности, адаптированности субъекта к среде. Возможна такая ситуация, когда само по себе разнообразие реакций, которыми располагает субъект, равно разнообразию стимулов, но при этом реакции не соответствуют стимулам. В результате возникает сложная смесь состояний, в которой присутствуют и напряженность, и беспокойство, а взаимная информация меньше возможного максимального значения.

4. Разнообразие реакций соответствует разнообразию стимулов, и при этом реакции адекватны стимулам. Это нормальное, оптимальное рабочее состояние — общий положительный эмоциональный тон этого состояния. Взаимная информация в этом состоянии максимальна. Во всех остальных состояниях она меньше максимальной.

Рассмотрим некоторые факторы, ответственные за возникновение этих состояний.

Причина *напряженности* — высокое разнообразие и сложность внешней среды, выражающиеся в таких чертах, как большое количество стимулов и высокая частота, большие скорости, широкий диапазон их изменений. Все эти факторы характеризуются общим показателем — $H(X)$. Сюда же следует отнести и такой фактор, как неожиданность: всякий новый, резкий, необычный стимул увеличивает $H(X)$ и может стать причиной напряженности. Наконец, энтропия $H(X)$ тем больше, чем больше неопределенность ситуации. Из опыта известно, что неопределенность — один из наиболее сильных стрессогенных факторов.

С другой стороны, источником напряженности может стать все, что ограничивает разнообразие реакций субъекта $H(Y)$, например большие физические нагрузки $r(y)$, дефицит энергии, времени и других ресурсов R. В свою очередь, дефицит энергии может быть вызван такими причинами, как голодание, болезнь, недостаток кислорода, отравление, преклонный возраст и т. п. Одна из важнейших причин дефицита ресурсов и напряженности — *утомление*, истощение ресурсов в процессе самой деятельности.

Еще одним источником напряженности может служить необученность, неподготовленность субъекта к данной деятельности. Обычно в ходе обуче-

ния и тренировки разнообразие реакций возрастает, но в начале этого процесса оно может быть еще много меньше необходимою. В результате возникает множество некомпенсированных стимулов, а значит, и напряженность.

Монотония — своего рода антипод напряженности. Если напряженность порождается слишком большим разнообразием стимулов, то монотония, наоборот, слишком малым их разнообразием. В этом случае существует множество «невостребованных» реакций за пределами множества стимулов X. В этом случае субъекту выгодно сокращать разнообразие реакций. Вслед за сокращением разнообразия происходит демобилизация ресурсов, снижение уровня активации, поскольку поддержание прежнего уровня становится невыгодным и ненужным.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы построения исчисления эмоций. Введена алгебра эмоций для вычисления величины и знака сложной эмоции с помощью простых операций над ее составляющими. Построен вариант классификации эмоций, позволяющий построить дерево эмоций на основе рефлексивности оценок. Авторы вполне осознают возникающие при формализации эмоций проблемы, особенно в части разработки соответствующего алгоритмически-программного обеспечения. Однако следует также иметь в виду перспективность использования формализованных эмоциональных оценок для моделирования кооперации и совместных действий автономных когнитивных агентов в интеллектуальных системах различного типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 15-07-02320, 16-07-00222).

Список литературы

1. *Голицын Г.А., Фоминых И.Б.* Нейронные сети и экспертные системы: перспективы интеграции // Новости искусственного интеллекта. 1996. № 4. С. 121—145.

2. *Golitsyn G.A., Petrov V.M.* Information and Creation. Basel : Birkhauser Verlag, 1995.

3. *Анохин П.К.* Эмоции // Большая медицинская энциклопедия. М. : Медгиз, 1964. Т. 35. С. 339.

4. *Голицын Г.А., Петров В.М.* Информация — поведение — творчество. М. : Наука, 1991.

5. *Фоминых И.Б.* Эмоции как аппарат оценок, поведения интеллектуальных систем // Труды X Национальной конференции по искусственному интеллекту (КИИ-2006, Обнинск, 25—28 сентября 2006 г.). М. : Физматлит, 2006. Т. 2. С. 687—694.

6. *Фоминых И.Б., Алексеев В.В.* Классификация эмоций: информационный подход // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Коломна, 28—30 мая 2007 г.). М. : Физматлит, 2007.

Н. Г. Ярушкина
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия
e-mail: jng@ulstu.ru

АНАЛИЗ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ОНТОЛОГИЙ

Введение. Перспективы нечетких гибридных систем в анализе слабоструктурированных текстов

В интеллектуальных системах все большую популярность приобретают модели знаний, представленных предметными онтологиями. Сущность онтологического представления заключается в системной семантической структуризации накопленных информационных ресурсов. Структуризация предметной области опирается на понятие термина, концепта, отношений и правил интерпретации. Предметные онтологии, с одной стороны, описывают статическую структуру предметных знаний, с другой — должны отражать и ее динамические свойства. Динамические свойства сущностей могут быть описаны в онтологии на основе извлечения темпоральных знаний в виде тенденций, характеризующих паттерны поведения на разных уровнях абстракции.

Фронтир современных исследований находится в области изучения возможностей извлечений знаний из больших массивов данных (Big Data Mining) и извлечение знаний из неструктурированных текстовых источников (Web Mining, Semantic Web, Social media analysis) [1].

1. Методы и средства нечетких гибридных систем в задачах интеллектуального анализа слабоструктурированных текстов

1.1. Мягкие экспертные (рекомендательные) системы

В России разработаны новые нечеткие гибридные системы, в частности предложена модель и архитектура мягкой экспертной системы [2]. Нечеткие экспертные системы представляют знания в форме нечетких продукций и совокупности лингвистических переменных. Основу представления лингвистической переменной составляет терм с функцией принадлежности. Способ обработки знаний — это вывод по нечетким продукциям. Особенность конкретной нечеткой ЭС — способы извлечения функций принадлежности, которые сводятся либо к статистическим методам построения из гистограммы, либо к вариантам метода экспертных оценок.

Мягкой ЭС будем называть нечеткую ЭС, которая обладает следующими особенностями.

— Мягкая ЭС для извлечения знаний использует статистические данные, которые интерпретирует как обучающие выборки для нечетких нейронных сетей.

© Ярушкина Н. Г., 2018

— Мягкая ЭС представляет знания как совокупность лингвистических переменных (функций принадлежности), нечетких продукций и обученных нейронных сетей. Редукция множества нечетких продукций выполняется с помощью генетических алгоритмов.

— Мягкая ЭС сочетает шаги вывода по нечетким продукциям с шагами вывода на базе онтологий.

Таким образом, если мягкими называют вычисления, сочетающие теорию нечетких систем, нейронные сети, вероятностные рассуждения и генетические алгоритмы и обладающие синергическим эффектом, то мягкой называют ЭС, сочетающую перечисленные теории ради того же эффекта взаимного усиления [2].

1.2. Кластеризация слабоструктурированных текстовых ресурсов

Кластеризация — это процесс обнаружения естественной структуры массива данных на основе одного или нескольких выбранных отношений близости между объектами в наборе. Этот тип анализа — отправная точка в процессе исследования данных (data mining) и предоставляет первичную, обычно достаточно грубую, информацию о взаимосвязи объектов в наборе данных (dataset).

Для решения задачи кластеризации коротких текстов определений экономических показателей стратегического планирования был предложен алгоритм построения классификатора массива данных методом иерархической кластеризации нечеткого графа [3]. Полученная модель в виде иерархического классификатора в зависимости от степени детализации может быть использована как для экспертного анализа, так и в качестве исходной модели для применения алгоритмов машинного обучения с целью дальнейшего извлечения информации об изучаемом объекте. Результаты работы предложенного алгоритма проверены на примере набора данных показателей эффективности системы стратегического планирования Российской Федерации. Данный массив играет значимую роль в системе государственного управления для обеспечения «конкурентоспособности российской экономики в современных условиях» [3]. Полученные результаты показывают, что алгоритм может быть эффективно использован для анализа структуры больших наборов данных коротких текстовых фрагментов.

1.3. Методика предварительной обработки текстовых наименований показателей

Изложим разработанную методику предварительной обработки объектов экономической аналитики на примере показателей стратегического планирования Ульяновской области.

Шаг 1. Токенизация и стемминг совокупности показателей.

На шаге 1 должен быть получен список слов, содержащихся в тестовых формулировках показателей. Инструментальное обеспечение шага 1 составляет пакет nltk [4] на языке python и пакет pymorphy2 [5]. Тестовый пример

был сформирован из всех показателей стратегического планирования Ульяновской области. Очевидно, что наиболее часто встречающиеся слова составляют группу стоп-слов, так как не несут в себе смысловой нагрузки

Шаг 2. Предварительная кластеризация с целью выяснения представленных тематик на основе метрики семантической близости слов.

К списку слов после удаления из него стоп-слов разумно применить кластеризацию для выяснения представленных тематик. Для этого нужно иметь метрику семантической близости слов. Для получения такой метрики был выбран сервис RusVectores [6], который позволяет получать число в диапазоне от –1 до 1, показывающее коэффициент корреляции между векторами, которые были сопоставлены словам. Например: для слов «сено» и «корова» получаем результат 0,34, для слов «тинэйджер» и «подросток» — 0,63, а для пары «подросток» и «сено» — –0,084. Это соответствует интуитивным ожиданиям. Далее составляется матрица связей. Для выбранного примера была получена матрица размером 1356*1356. Предварительная кластеризация выполнена методом k-средних, реализованном в пакете sklean языка python.

Шаг 3. Построение метрики близости показателей.

Основным недостатком полученных на шаге 2 результатов является то, что данная кластеризация не отвечает на вопрос соотнесения тематик и самих показателей. Для этого требуется построить метрику близости самих показателей на основе набора содержащихся в них слов. Допустив равную значимость каждого слова в показателе, можно предложить следующую метрику: выбирать среднее значение из максимальных близостей каждого слова первого показателя с каждым словом второго. Используя предложенную метрику и построив матрицу семантической близости показателей, можно повторно провести кластеризацию методом k-средних.

Шаг 4. Представление показателей в виде графа.

С целью получить общую наглядную картину результатов кластеризации можно перейти к представлению показателей в виде графа. Показатели — вершины графа, связи между ними — ребра, вес каждого ребра равен коэффициенту связи между показателями согласно метрике, определенной на предыдущем шаге. При этом ребра с весом меньше 0,5 не добавляются. Воспользовавшись инструментом визуализации графов Gephy [7], можно отобразить полученный граф. Встроенными средствами поиска сообществ [8] на основе функции модулярности получаем граф с раскрашенными сообществами, фрагмент которого показан на рисунке.

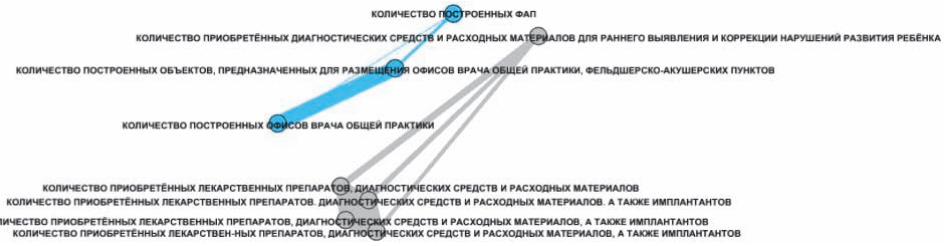


Рис. Фрагмент раскрашенных сообществ графа с текстом показателя

Представленная методика позволяет провести предварительный анализ текстовых наименований показателей и получить результаты в тестовом и графическом виде.

2. Онтологический анализ в задачах автоматизированного проектирования сложных технических систем

2.1. Семантическая валидация технической документации на основе предметной онтологии

При формировании информационного обеспечения процесса технологической подготовки производства важная задача — унификация терминологии, описывающей полный жизненный цикл промышленного изделия.

Онтология определяет язык, при помощи которого выражается семантическая часть словаря. С целью унификации терминологии в процессе разработки технической документации автоматизированной системы управления поточной линией сборки (АСУ ПЛС) АО «Авиастар-СП» разработана предметная онтология, состоящая (на данный момент) из 140 классов и их объектов, а также 26 свойств типа данных и свойств объектов [9].

Порядок проведения экспериментов:

1) без помощи разработанной системы составлена начальная версия технического задания (ТЗ) по соответствующему проекту;

2) было разработано ядро OWL-онтологии по предметной области АСУ поточной линии сборки тяжелых самолетов;

3) с целью исправления семантических ошибок и расширения терминологической составляющей ТЗ к данным ресурсам, а также к текущей версии ТЗ применены разработанные алгоритмы онтологического расширения ядра онтологии на основе извлечения терминов [9]. В качестве характеристик, определяющих семантическую адекватность разработанного ТЗ, выделены следующие показатели: количество используемых в тексте ТЗ аббревиатур, количество определений и число исправленных смысловых ошибок.

Применение разработанных алгоритмов уже после первой итерации значительно снизило количество семантических ошибок в тексте ТЗ, а количество определений, включенных в структуру ТЗ, возросло в 1,7 раза.

2.2. Поиск схожего софтверного проекта из репозитория по выраженности общих шаблонов проектирования

В индустрии программного обеспечения важна задача нахождения подобных софтверных решений в открытых репозиториях с целью их адаптации и доработки к текущим задачам с использованием результатов анализа особенностей проблемной области.

Поиск проекта по ключевым словам не всегда доступен и не всегда дает приемлемый результат. Проект часто не содержит большое количество текста для поиска по ключевым словам. Цель поиска — уже реализованный модуль, который не идентифицируется лексически в рамках предметной области, но

достаточно просто можно определить его структуру и функциональность. Например, результат запроса по ключевым словам в открытом репозитории программного обеспечения github «facebook api» — список из 4500 проектов. Подобный список проектов предполагает дальнейшую обработку вручную. Поиск необходимого проекта в таком списке представляет собой нетривиальную и ресурсоемкую задачу.

Поиск программного продукта на основе результатов проектирования, представленных в виде UML-диаграммы, — наиболее перспективное направление для дополнительного упорядочивания списка проектов, отобранных при помощи ключевых слов. Поиск с учетом архитектурных особенностей проекта предполагает работу с языком моделирования UML. Для решения задачи предложен алгоритм определения семантической близости программных проектов на основе онтологии UML [10].

Онтология в формате OWL [10] выбрана для хранения UML диаграмм классов, так как формат OWL обладает наибольшей выразительной силой для представления знаний в сложных предметных областях. Элементы диаграммы классов переносятся в онтологию в виде концептов с учетом их семантики. Семантика всех диаграмм складывается не только из семантики входящих в нее элементов, но и из семантики их взаимодействия. Ввиду сложной организации знаний в UML диаграммах формального переноса элементов недостаточно, именно поэтому было принято решение перенести часть метасхемы языка UML в формат онтологии OWL. Для решения задачи интеллектуального анализа UML диаграмм проекта необходимо разработать хранилище знаний, позволяющее описать знания, извлеченные из UML диаграмм.

Разработанная онтология построена из концептов — базовых элементов диаграммы классов. Данный подход к построению онтологии дает возможность вносить изменения и расширять множество элементов онтологии в случае необходимости. В ходе построения онтологии на основе метасхемы языка UML предложена следующая нотация (модель онтологии).

Разработанная онтология формально может быть представлена следующим образом:

$$O^{prj} = \left\langle C^{prj}, R^{prj}, F^{prj} \right\rangle,$$

где $C^{prj} = \left\{ c_1^{prj}, ..., c_i^{prj} \right\}$ — множество концептов, определенное основными элементами диаграмм языка такими как: "Class", "Object", "Interface", "Relationship" и т. д.; $R^{prj} = \left\{ r_1^{prj}, ..., r_i^{prj} \right\}$ — множество связей между концептами онтологии. Данные отношения соответствуют правилам нотации UML. $F^{prj} = \left\{ f_1^{prj}, ..., f_i^{prj} \right\}$ — множество функций интерпретации определяющих отношения R^{prj}.

По результатам тестирования поиска различных шаблонов проектирования следующие шаблоны обнаружены наибольшее количество раз с высокой степенью выраженности: Delegation, Interface, Abstract superclass и Facade.

Вычислительные эксперименты, подтверждающие эффективность формирования информационного обеспечения проекта ПАК на основе извлечения знаний о предметной области и проекте из UML-диаграмм в формате OWL. Эксперименты по отбору проектов, релевантных техническому заданию ПАК, из репозитория Github, разработанных на языке Java, без использования предложенных мер структурного подобия позволил найти 108 ("vk api") и 6516 проектов ("design patterns"). Использование предложенных мер сократило массив отобранных прототипов до 7 проектов ("vk api") и до 12 ("design patterns").

Заключение

Таким образом, особенность предметных онтологий — необходимость перманентного развития и обновления вследствие изменения представляемой предметной области. Благодаря развитию языков формального представления онтологий такие модели все чаще интегрируются в интеллектуальных системах. При этом выделяют задачи проектирования предметных онтологий, содержащих знания о предметной области проектирования как концептуального характера, так и знания о свойствах и аксиомах объектов [11—14].

Основной проблемой использования онтологий в разработке программного обеспечения остаются высокие требования к разработчикам по знанию внутреннего устройства онтологий и их возможностей. Важность формализации концептов проблемной области для разработки ПО привела к появлению специальных языков проектирования, которые включают в себя формализацию концептов (сущностей) проблемной области. Одно из распространенных средств проектирования — язык UML, который предложено рассматривать как источник знаний, извлекаемых из проекта при формировании предметной онтологии.

Исследование поддержано грантом РФФИ №17-07-00973 «Исследование моделей и методов нечетких онтологий в задачах анализа программно-аппаратных комплексов».

Список литературы

1. *Pruenkarn R., Wai Wong K., Che Fung Ch.* A Review of Data Mining Techniques and Applications // Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics. 2017. Vol. 21, № 1. P. 31—49

2. *Ярушкина Н.Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем. М. : Финансы и статистика, 2004.

3. *Дударин П.В., Ярушкина Н.Г.* Алгоритм построения иерархического классификатора коротких текстовых фрагментов на основе кластеризации нечеткого графа // Радиотехника. 2017. № 6. С. 114—121.

4. *Гречачин В.А.* К вопросу о токенизации текста // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6 (48), ч. 4. С. 25—27.

5. *Коробов М.* pymorphy2. URL: https://habrahabr.ru/post/176575/.

6. *Kutuzov A., Andreev I.* Texts in, meaning out: neural language models in semantic similarity task for Russian (англ.) // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии : по материалам ежегодной Междунар. конф. «Диалог» (Москва, 27—30 мая 2015 г.). Вып. 14 (21) : в 2 т. М. : Изд-во РГГУ, 2015. Т. 2 : Доклады специальных секций. С. 133—144.

7. *Kazymyrov O.* Gephi как средство визуализации данных. URL: https://habrahabr.ru/post/136575/

8. *Славнов К.А.* Анализ социальных графов. URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/60/2015_417_SlavnovKA.pdf

9. *Ярушкина Н.Г., Мошкин В.С.* Подход к обучению онтологии на основе гибридизации алгоритмов извлечения знаний из текстов и механизма прецедентов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. №2(62). С. 78—83.

10. *Гуськов Г.Ю., Наместников А.М., Ярушкина Н.Г.* Подход к поиску похожих по структуре проектов, основанный на онтологии языка UML // Радиотехника. 2017. №6. С. 122—127.

11. *Ярушкина Н.Г.* Нечеткие нейронные сети (Часть 1) // Новости искусственного интеллекта. 2001. №2—3. С. 47—52.

12. *Бионические* информационные системы и их практические применения / под ред. Л.А. Зинченко, В.М. Курейчика, В.Г. Редько. М. : Физматлит, 2011.

13. *Ярушкина Н.Г.* Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой // Научная сессия МИФИ-2004 : лекции по нейроинформатике. М. : МИФИ, 2004. С. 151—197.

14. *Ярушкина Н.Г.* Современный интеллектуальный анализ нечетких временных рядов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. V Междунар. науч.-практ. конф. : сб. науч. тр. : в 2 т. М. : Физматлит, 2009. Т. 1. С. 19—29.

Секция 1

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ГИБРИДНЫХ И ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Руководители секции — д-р техн. наук, проф. А. П. Еремеев
д-р техн. наук, проф. А. В. Колесников

А. М. Андреев[1], Д. В. Березкин[2], И. А. Козлов[3]
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: [1]arkandreev@gmail.com, [2]berezkind@bmstu.ru, [3]kozlovilya89@gmail.com

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОБЫТИЙ ИЗ ПОТОКОВ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ

Для современных информационных систем, решающих разнообразные задачи по обработке информации, поступающей из сети Интернет или от специализированных источников, характерны постоянный рост объемов анализируемых данных и их разнородность. Данные могут быть представлены в числовом или текстовом виде, могут быть неструктурированными или преобразованными в структурированную форму с использованием различных способов представления знаний. В сети Интернет данные, как правило, представлены в неструктурированном виде, что соответствует естественному для человека способу выражать свои мысли и делиться своими знаниями.

Данные, регулярно поступающие от источников (такие как новостные и аналитические статьи, правовые документы, значения фондовых индексов, показания датчиков), являются динамическими и, следовательно, отражают развитие ситуаций и могут быть использованы для поддержки принятия решений в реальном времени. Для принятия наилучших решений необходимо прогнозировать дальнейшее развитие ситуаций. Это справедливо для самых разных предметных областей: прогнозирование дальнейшего развития отрасли позволяет компаниям заключать наиболее выгодные сделки, а наличие прогноза развития чрезвычайной ситуации на промышленном объекте позволяет своевременно предпринять необходимые действия для минимизации негативных последствий. Ввиду больших объемов данных, генерируемых источниками, анализ и прогнозирование должны выполняться автоматически.

Существующие подходы к ситуационному анализу и управлению были проработаны в работах Д. А. Поспелова, Ю. И. Клыкова, А. П. Еремеева, В. Н. Вагина, В. В. Кульбы и других авторов. Предложенные решения эффективны для управления сложными системами, однако большинство из них имеет ряд особенностей, затрудняющих их применение для автоматического анализа потоков гетерогенных данных: статическое представление ситуации, отсутствие учета динамики ее развития; ориентированность на обработку

© Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А., 2018

данных определенного типа, невозможность применения для анализа разнородных данных и знаний; невозможность применения для анализа данных, представленных текстами на естественном языке.

С учетом отмеченных недостатков существующих решений актуальной задачей представляется создание подхода к анализу и прогнозированию развития ситуаций на основе автоматической обработки потоков разнородных, в частности текстовых, данных. Разработке такого подхода посвящена данная работа.

Изменения, происходящие в потоках данных и отражающие различные этапы развития анализируемых ситуаций, можно рассматривать как события [1]. При этом модели событий существенно различаются в разных предметных областях, а для извлечения таких событий из потоков первичных данных используются различные методы. Последовательное обнаружение взаимосвязанных событий позволяет отслеживать развитие ситуации с течением времени. Прогнозирование развития ситуации при этом заключается в формировании возможных сценариев ее дальнейшего развития, каждый из которых представляет собой цепочку событий, которые могут наступить в будущем. Также для каждого сценария необходимо формировать предложения по действиям, которые должны быть предприняты для содействия или противодействия развитию ситуации по этому сценарию.

Ввиду наличия различных способов представления событий при обработке разнородных данных, разрабатываемый подход должен предоставлять возможность манипулирования разными моделями данных и знаний. С другой стороны, вне зависимости от предметной области развитие ситуации рассматривается как последовательность событий, следовательно, формирование сценариев должно выполняться единообразно.

Таким образом, разрабатываемый подход — гибридный. Задача анализа развития ситуаций редуцируется на подзадачи обнаружения последовательностей событий в потоках данных различного типа. Агрегирование результатов решения отдельных подзадач выполняется путем использования знаний, извлеченных различными методами обнаружения событий, для построения возможных сценариев и генерации предложений.

Предлагаемый гибридный подход состоит из следующих этапов: *периодический сбор разнородных* (числовых, табличных, текстовых) данных из различных источников, таких как новостные порталы в сети Интернет, документальные базы, реляционные базы данных; *первичная обработка и очистка загруженных данных*; *выделение из потока данных событий* ε_i; модель событий и метод их обнаружения специфичен для каждого типа данных; *формирование ситуаций* $s = (\varepsilon_s^1, \varepsilon_s^2, ..., \varepsilon_s^n)$ — цепочек взаимосвязанных событий, способ объединения событий в ситуации также определяется особенностями данных; *формирование множества возможных сценариев* дальнейшего развития текущей ситуации; каждый сценарий $\xi = (\varepsilon_\xi^1, \varepsilon_\xi^2, ..., \varepsilon_\xi^n)$ представляет собой потенциальное продолжение текущей ситуации; построение сценариев выполняется единообразно для различных типов данных; из сформиро-

ванного множества сценариев выделяются три, наиболее интересных для лица, принимающего решения (ЛПР): оптимистический, пессимистический и наиболее вероятный; *формирование рекомендаций* rec_ξ для ЛПР, соответствующих каждому из предложенных сценариев ξ.

Этапы предлагаемого подхода отражены на рисунке.

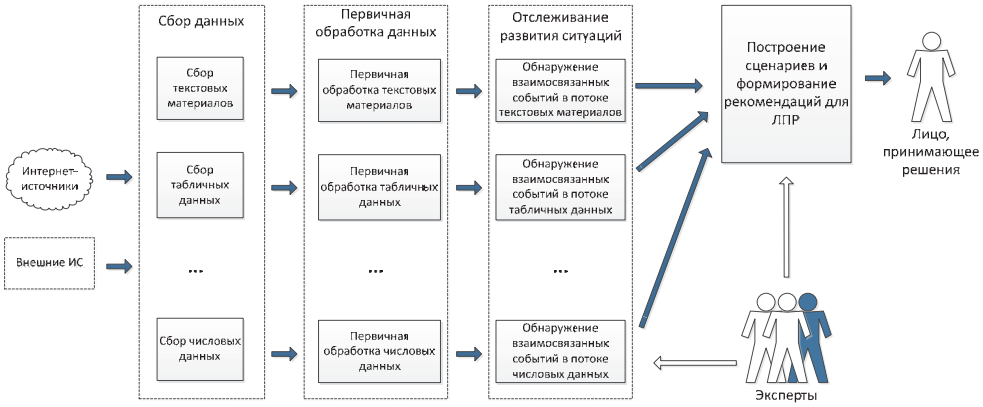


Рис. Этапы гибридного подхода к прогнозированию развития ситуаций

Первичная обработка данных предполагает их очистку от служебной информации с сайта источника и приведение к требуемому формату. При этом необходимо своевременно обнаруживать изменения структуры сайта и оперативно редактировать настройки правил извлечения, чтобы избежать загрузки некорректных данных. Также для обеспечения качественного сбора требуется устранять дубликаты, т. е. сообщения, получаемые из других документов путем их перепечатки с незначительными изменениями. Решения этих задач были предложены авторами в работах [2; 3].

Очищенные данные подвергаются процедуре обнаружения событий. Рассмотрим более подробно способы представления событий, которые могут использоваться при работе с различными типами данных.

Для представления событий, отраженных в потоках текстовых документов, предложено множество моделей. В ряде работ каждое событие характеризуется всплеском интенсивности появления в текстовом потоке определенных слов [4]. Таким образом, событие определяется моментом наступления и набором слов, в интенсивности которых произошел резкий рост в этот момент.

Такой способ представления событий неприменим для отслеживания развития ситуаций, поскольку он не предполагает возможности выявления взаимосвязей между событиями и выстраивания ситуационных цепочек. Этого недостатка лишены подходы, представляющие события отдельными текстовыми документами. Они основаны на выявлении текстовых сообщений, содержащих информацию о событиях, не описанных в ранее загруженных документах. Для обнаружения таких сообщений предлагаются различные методы.

В работе [5] выполняется ранжирование документов таким образом, что наибольший вес получают сообщения, обладающие высокой близостью к недавно поступившим документам и малой схожестью с сообщениями из массива, накопленного за значительный период времени. Считается, что документы с большим весом описывают новые события.

В работе [6] каждый документ, представляемый векторной моделью, сравнивается со всеми ранее загруженными сообщениями. Если его близость к ним (рассчитываемая на основе косинусной меры) низка, считается, что он описывает новое событие. Такое представление событий позволяет формировать ситуационные цепочки путем объединения взаимосвязанных сообщений. Эта задача может быть решена путем нахождения пар документов, описывающих различные события, близость между векторными моделями которых превышает пороговое значение.

С целью отражения более полной информации о событии оно может быть представлено группой документов (например, набором новостей, опубликованных разными агентствами). В подходах, основанных на таких моделях, обнаружение событий рассматривается как задача кластеризации потока текстовых сообщений. В частности, в работе [7] события выделяются путем иерархической кластеризации статической коллекции документов. Недостаток такого подхода — необходимость повторения процедуры кластеризации после каждого пополнения коллекции.

В связи с этим для обнаружения событий в условиях постоянного поступления новых сообщений часто используется динамическая кластеризация [8]. При этом новый документ сопоставляется с ранее сформированными кластерами, каждый из которых соответствует некоторому событию, и относится к ближайшему из них (либо используется для создания нового кластера). В работе [9] авторами предложен подход к обнаружению событий на основе динамической кластеризации, позволяющий осуществлять гибкую настройку на различные предметные области. С этой целью каждый документ представляется многокомпонентной моделью, компоненты которой описывают его содержание, структуру и метаданные. Для сопоставления документа и события выполняется покомпонентное сравнение их моделей с применением различных мер близости. На основе вектора, состоящего из результатов сравнения моделей по различным критериям, с помощью метода опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) определяется, относится ли документ к событию. Объединение событий в ситуационные цепочки также выполняется на основе покомпонентного сопоставления их моделей.

Некоторые исследователи рассматривают обнаружение событий в потоке текстовых документов как задачу извлечения информации (Information Extraction) [10]. При этом каждое событие представляется как фрейм, слоты которого соответствуют участникам события и условиям, при которых оно произошло. События, представленные фреймами, объединяются в ситуационные цепочки на основе наличия одинаковых значений тех или иных слотов. Анализ цепочек событий, представленных схожим образом (а именно в виде записей с заданным набором полей), лежит в основе направления Process Mining [11].

В некоторых работах при выделении событий анализируется не содержание документов, а их количество. В этом случае анализируется временной ряд, каждое значение которого отражает количество сообщений, поступивших за соответствующий временной промежуток [12]. Задачу обнаружения событий во временных рядах также требуется решать при обработке числовых данных, динамически поступающих от источников (например, последовательностей значений курсов валют или показаний измерительных приборов). В этом случае событие характеризуется моментом времени, в который произошло существенное изменение характеристик временного ряда [13]. Для обнаружения таких моментов используются статистические методы, в частности метод максимального правдоподобия.

Еще одно направление обнаружения событий в потоках данных — обработка сложных событий (Complex Event Processing, CEP). CEP детектирует в потоках данных элементарных событий, в качестве которых могут выступать срабатывания датчиков или определенные изменения в характеристиках числовых или текстовых данных. Элементарные события неделимы и происходят в конкретные моменты времени. На основе них с помощью логических правил выводятся сложные события. Для описания правил конструирования сложных событий из простых предлагаются различные языки, использующие темпоральные логики [14]. CEP предполагает иерархические связи между событиями, поэтому ситуационная цепочка может быть представлена как событие более высокого уровня.

Многие подходы предполагают выполнение анализа ситуаций на основе знаний, предварительно извлеченных из потоков данных. В этом случае развитие ситуации может рассматриваться как последовательность изменений состояния анализируемой системы, для описания которого применяются различные способы представления знаний: когнитивные карты [15], семантические сети [16], фреймы [17]. При этом под событием может пониматься изменение одного или нескольких параметров модели, а ситуация представляет собой упорядоченный набор событий [18].

После построения цепочки событий, отражающей развитие ситуации с течением времени, необходимо определить возможные сценарии ее дальнейшего развития. Генерация сценариев основана на принципе исторической аналогии: текущая ситуация s_c подвергается сравнению с эталонными ситуациями $s_e \in S_e$ из подготовленной экспертами базы эталонов S_e. Такие эталоны отражают развитие различных ситуаций в прошлом. Если обнаружено сходство текущей последовательности с начальной частью $st(s_e,s_c)$ эталонной цепочки, можно предположить, что дальнейшее развитие ситуации s_c будет аналогично заключительной части этой цепочки $fin(s_e,s_c)$. Таким образом, последовательность событий $fin(s_e,s_c)$ можно рассматривать как возможный сценарий дальнейшего развития текущей ситуации.

Для сравнения ситуаций используется метод, представляющий собой модификацию расстояния Левенштейна: расстояние между цепочками определяется нормированным суммарным весом операций, необходимых для преобразования $st(s_e,s_c)$ в s_c:

$$\rho(s_e, s_c) = \frac{\theta^T W}{len(st(s_e, s_c))} = \frac{(\theta_{del} W_{del} + \theta_{add} W_{add} + \theta_{rep} W_{rep} + \theta_{trep} W_{trep})}{len(st(s_e, s_c))},$$

где $len(st(s_e,s_c))$ — длина начальной части эталонной цепочки; $\theta = (\theta_{del},\theta_{add},\theta_{rep},\theta_{trep})$ — коэффициенты, определяющие вклад операций различных типов в значение расстояния; $W = (W_{del}, W_{add}, W_{rep}, W_{trep})$ — вектор, содержащий суммарные веса различных типов операций преобразования цепочек: удаления события из эталонной ситуации (W_{del}); добавления события в текущую ситуацию (W_{add}); замены события на его аналог (W_{rep}); изменения временного интервала между событиями (W_{trep}).

Способ вычисления весов зависит от типа анализируемых данных и выбирается исходя из используемых моделей событий.

На основе значения $\rho(s_e,s_c)$ требуется определять, является ли текущая ситуация s_c аналогом эталона s_e. Установление аналогичности рассматривается как задача логистической регрессии. Для этого вводится переменная y, принимающая значение единицы, если цепочки не являются аналогами, и нуля в противном случае. Делается предположение, что вероятность наступления события $y = 0$ (т. е. вероятность того, что текущая ситуация — аналог эталонной) задана логистической функцией от расстояния между цепочками:

$$\mathrm{P}(y = 0 \mid s_e, s_c) = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\rho(s_e, s_c)}}.$$

Значения коэффициентов θ подбираются методом максимального правдоподобия на основе обучающей выборки, состоящей из множества пар аналогичных и неаналогичных ситуаций. Эталонные цепочки, для которых $\mathrm{P}(y = 0 \mid s_e, s_c) > 0{,}5$, считаются аналогами ситуации s_c, а их заключительные части рассматриваются как возможные сценарии ее дальнейшего развития. Заключительная часть цепочки, для которой вероятность аналогичности текущей ситуации максимальна ($s_e^{prob} = \arg\max_{s_e} \left[\mathrm{P}(y = 0 \mid s_e, s_c)\right]$), — наиболее вероятный сценарий.

Из всего множества сценариев, сформированных для текущей ситуации, выделяются два, наиболее интересных для ЛПР, — оптимистический и пессимистический. Для их определения рассчитывается приоритетность всех сценариев с помощью метода анализа иерархий (МАИ) [19]. Также с целью поддержки принятия решений для каждого из сформированных сценариев готовятся предложения относительно действий, которые необходимо предпринимать для способствования или противодействия развитию ситуации по этому сценарию. Для формирования таких предложений при подготовке базы S_e эксперты снабжают каждое событие эталонных ситуаций рекомендациями, указывающими, какое лицо, какие действия и в какие сроки должно выполнить при наступлении аналогичного события в будущем.

В отличие от существующих решений, приведенный гибридный подход позволяет единообразно выполнять прогнозирование развития ситуаций при обработке различных видов данных, в частности текстовых документов на

естественном языке. Использование методов машинного обучения, таких как логистическая регрессия и метод опорных векторов, позволяет осуществлять гибкую настройку в зависимости от анализируемой предметной области. Представление ситуаций цепочками событий обеспечивает учет динамики развития ситуаций при прогнозировании.

На основе приведенного подхода авторами разработана система автоматического отслеживания и прогнозирования развития ситуаций. Участие экспертов требуется лишь на этапе обучения системы: они выполняют подготовку наборов эталонных событий и ситуаций, относящихся к анализируемой предметной области. После обучения система автоматически анализирует потоки разнородных данных, выявляет события, формирует ситуации и определяет возможные сценарии их дальнейшего развития, а также формирует предложения для лиц, принимающих решения.

Разработанная система может быть использована для поддержки принятия решений в различных сферах: при оценке руководством компании целесообразности вложения средств в развитие тех или иных технологий, при выборе действий по предотвращению чрезвычайной ситуации на производстве, при управлении социальными и политическими процессами. В зависимости от области применения системы ее структурные элементы должны подвергаться соответствующей настройке.

Список литературы

1. *Allen J.F., Ferguson G.* Actions and events in interval temporal logic / Journal of Logic and Computation. 1994. Vol. 4, № 5. P. 531—579.

2. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А. и др.* Подход к автоматизированному контролю работы системы извлечения данных с веб-сайтов // Информатика и ее применения. 2013. Т. 7, № 3. С. 2—13.

3. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А. и др.* Многокритериальный метод выявления нечетких дубликатов в потоке текстовых сообщений // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, № 1. С. 34—53.

4. *Weng J., Lee B.S.* Event Detection in Twitter // ICWSM. 2011. Vol. 11. P. 401—408.

5. *Ландэ Д.В. и др.* Выявление новых событий из потока новостей // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии : труды международной конференции «Диалог-2007». М. : РГГУ, 2007. С. 349—352.

6. *Yang Y. et al.* Learning approaches for detecting and tracking news events // IEEE Intelligent Systems. 1999. Vol. 14, № 4. P. 32—43.

7. *Yang Y., Pierce T., Carbonell J.* A study of retrospective and on-line event detection // Proceedings of the 21st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. New York, NY : ACM, 1998. P. 28—36.

8. *Aggarwal C.C., Philip S.Y.* On clustering massive text and categorical data streams // Knowledge and information systems. 2010. Vol. 24, № 2. P. 171—196.

9. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А.* Подход к автоматизированному мониторингу тем на основе обнаружения событий в потоке текстовых документов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15, № 3. С. 49—60.

10. *Hogenboom F., Frasincar F., Kaymak U., De Jong F.* An overview of event extraction from text // Workshop on Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2011) at Tenth International Semantic Web Conference (ISWC 2011). 2011. Vol. 779. P. 48—57.

11. *van der Aalst W.M.P. et al. Business* process mining: An industrial application // Information Systems. 2007. Vol. 32, № 5. P. 713—732.

12. *Zhao Q., Mitra P., Chen B.* Temporal and information flow based event detection from social text streams // AAAI. 2007. Vol. 7. P. 1501—1506.

13. *Guralnik V., Srivastava J.* Event detection from time series data // Proceedings of the fifth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. New York, NY: ACM, 1999. P. 33—42.

14. *Yao W., Chu C. H., Li Z.* Leveraging complex event processing for smart hospitals using RFID // Journal of Network and Computer Applications. 2011. Vol. 34, № 3. P. 799—810.

15. *Кононов Д. А., Косяченко С. А., Кульба В. В.* Формирование и анализ сценариев развития социально-экономических систем с использованием аппарата операторных графов // Автоматика и телемеханика. 2007. № 1. С. 121—136.

16. *Варшавский П.Р.* Методы и программные средства поиска решения на основе аналогий в интеллектуальных системах поддержки принятия решения : дис. … канд. техн. наук / МЭИ. М., 2005. 212 с.

17. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986. 288 с.

18. *Горелова Г. В. и др.* Когнитивный подход к исследованию условий развития региональной системы // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2004. Т. 44, № 9. С. 110—122.

19. *Saaty T.L.* The Analytic Hierarchy Process. N.Y. : McGraw-Hill, 1980.

Д.В. Березкин
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: berezkind@bmstu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНФЛИКТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЛИЧНОСТИ СРЕДСТВАМИ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Бурное развитие глобальной сети Интернет привело к появлению многих важных социальных и политических процессов, которые были невозможны или проявлялись в малой степени в прошлые годы. По своей сути Интернет начал играть роль СМИ, доступ к которому может получить практически любой человек, в большинстве случаев не проходя регистрацию или проделав какую-то весьма поверхностную процедуру регистрации, каждый фактически может написать что угодно и о чем угодно, при этом он имеет возможность сохранить свою анонимность. Такая ситуация неизбежно привела к широкому распространению информации о межличностных и социальных конфликтах и определенной криминализации подобной информации. Согласно современным исследованиям [1], сетевая среда влияет на идентификацию лич-

© Березкин Д.В., 2018

ности, становится тем местом, в котором она стремится себя утвердить. Использование современных информационно-коммуникационных технологий изменяет параметры традиционной локальности социальной жизни, традиционные семейные, родовые, соседские связи. Сетевые структуры оказывают существенное влияние на структуру общественных отношений.

В сетевой среде с новой силой проявляется конфликт между человеком и обществом, который выражается в ограничении свободы, изменяются механизмы развития и становления личности. В ходе взаимодействия с другими людьми в сетевой среде происходит осознание личностью своеобразных черт и качеств, отличающих ее от других, а также приобщение к ценностям, которые человек начинает считать своими. При этом могут возникать некоторые ошибки и «сбои» в процессе такого общения, приводящие к нарушениям идентификации личности, деструктивному поведению. Именно такой механизм, а не представления о некой греховной природе личности, восходящие к Платону, генетические аномалии, инстинкты, на которых основывал психоанализ З. Фрейд, является, на наш взгляд, причиной развития деструктивного поведения личности. Генетические заболевания могут лишь затруднить диалог с обществом и тем самым породить проблемы личности, вызванные «сбоями» ее становления.

Деструктивное и аутодеструктивное поведение отдельных людей становится известно многим и может вызвать рост напряжения и социальных конфликтов. Меры пресечения таких действий средствами самого Интернета крайне неэффективны в силу самой организации сети. Правовые механизмы подобных мер предусматривают воздействия на провайдеров распространения информации или доступа к Интернету, рассматривая их некими «издательствами», способными контролировать проходящие потоки информации и нести ответственность за содержание публикуемых сообщений. В силу ошибочности подобной аналогии, большинство подобных действий обречено на неудачу.

Интернет становится важным источником для сбора информации о лицах, проявляющих склонность к деструктивному и аутодеструктивному поведению, совершивших или готовящихся совершить противоправные действия. Социальные сети, блоги и многие новостные сайты дают возможность пользователям писать комментарии и выражать свое отношение к тем или иным сообщениям. В работе [1] отмечается, что в формирующейся сетевой культуре уменьшается значение индивидуальности и усиливается значение принадлежности к некой общности, наличие связи с другими субъектами. Такой культуре присущи темпоральная изменчивость, асинхронность, нелинейность, семантический и аксиологический плюрализм, доминирование публичности. Главными ее элементами становятся не индивиды, а «сообщения» об их жизни в сети. Личность с точки зрения сетевой культуры представляет собой некий текст из сообщений, свидетельствующий об ее индивидуальном бытие, публичность становится средством подтверждения собственной уникальности, свидетельством самого существования индивида.

Взаимодействие людей в современном обществе выстраивается по моделям, задаваемым сетевыми технологиями обработки и передачи информации, что приводит, в частности, к появлению виртуальных сетевых сообществ, обеспечивающих интерактивное взаимодействие участников, независимо от их реального местоположения. Поэтому для моделирования взаимодействий людей, различных общественных отношений, включая разного рода конфликты, нами предлагается использовать сетевые модели (случайные сети, мультисети и другие).

С точки зрения обеспечения общественной безопасности идентификация конкретной персоны в Интернете становится менее актуальной задачей, чем выявление возможного деструктивного влияния на общество потока сообщений, которое порождается этой персоной, неким сетевым сообществом или даже роботами, а также прогноз последствий подобного влияния.

Очевидно, что для анализа текстовых сообщений должны быть привлечены методы лингвистики. Из них в первую очередь нам будут интересны такие, которые используют вычислительную технику для анализа текстов и определения тех или иных выводов. Наряду с традиционными для Интернета методами компьютерной лингвистики, такими как: построение поисковых индексов, частотных словарей слов и выражений, автоматическая кластеризация, классификация и аннотирование текстов и другими, вполне возможно применить те, которые раньше использовались в некоторых более узких областях лингвистики без привлечения компьютеров. Например, многие методы анализа поведения героев литературных произведений вполне подойдут для определения поведения неких персонажей виртуальной интернет-среды, за которыми стоят те или иные люди или организации.

Для эффективного анализа интернет-сообщений требуются соответствующие словари и тезаурусы, с помощью которых можно делать предположения о принадлежности авторов определенных интернет-сообщений к преступному миру или к некоторым неформальным сообществам, что позволит осуществить эффективный мониторинг и пресечение возможных противоправных действий.

Большой интерес представляют методы криминалистики, которые относятся к методам анализа письменной речи [2]. Если в традиционной криминалистике они не получили широкого развития и играют лишь второстепенную роль при проведении почерковедческих экспертиз, то для интернет-текстов они выходят на первое место. К сожалению, непочерковедческие методы исследования письменной речи проработаны гораздо хуже почерковедческих. В работе [2] указывается на результаты исследования распределения ошибок в текстах, и в частности «варваризмов» в орфографии, вызванных влиянием иного языка. Также указывается на методы распознавания эмоционально окрашенной письменной речи. Следует предположить, что в условиях конфликта или обсуждения подготовки противоправных действий человек будет испытывать сильные эмоции и ослабит контроль над своей письменной речью, будет допускать большие отступления от нормы и в лексике, и в синтак-

сисе, увеличивая количество ошибок и описок, и т. д. Кроме того, появление эмоционально окрашенных сообщений в Интернете может служить признаком развития кризисной ситуации в какой-то области, требующей более тщательного мониторинга.

В настоящее время имеется довольно много публикаций, посвященных изучению эмоционально окрашенной речи. К сожалению, практически все автоматические методы анализа эмоциональной лексики не учитывают содержательную сторону исследуемых текстов, а используются только словари эмоциональных слов и частотные распределения слов. В связи с этим дальнейшие исследования, направленные на повышение качества подобных систем, должны быть связаны с привлечением методов, использующих семантические модели текста.

В работе [2] выделяются категориальные признаки речи. К ним относятся возрастные, социальные, территориальные и национальные особенности речи. Выявление этих категориальных признаков при анализе интернет-сообщений возможно осуществить с применением компьютерных технологий, что позволит получить некоторые идентификационные признаки личности, которая скрывается под псевдонимом (так называемым ником) или же сообщает о себе в Интернете недостоверные сведения. При проведении анализа информации, содержащейся в сообщениях пользователей Интернета, также возможно составить представление о состоянии душевного здоровья некоторых авторов. В работе [2] указывается на возможность получения таких оценок.

Идентификация лиц в массивах неструктурированной информации, в сетях общего доступа и Интернет может быть основана на таком понятии современной лингвистики, как «языковая личность», которое было проработано в трудах Ю. Н. Караулова.

Проводимые в последние годы исследования [1] показывают, что сетевая или виртуальная идентичность личности не самостоятельны, а — результат самопрезентации личности в виртуальном пространстве. В этом наглядно проявляются свойства личности как системы: могут меняться отдельные ее описания, но не вся система. «Виртуальная личность» — одно такое описание личности-системы на определенном языке, принятом для сетевого общения, в этом просматривается ее связь с «языковой личностью», т. е. проявлением личности через сообщения и системность.

Человека и его психику целесообразно рассматривать как систему. Система — социальная группа или целый народ (страна), поэтому надо рассматривать модель человеческой психики как элемент сложной иерархии саморазвивающихся систем, отражающих общественные отношения. Их целостное исследование и создание для этого информационно-аналитических и информационно-управляющих систем требует применения системного синергетического подхода.

В диссертации [3] личность рассматривается как системное качество, которое представляет собой устойчивую систему социально значимых черт,

характеризующих индивида как члена общества. Для выражения этой «системности» человека используется понятие онтологии личности, непосредственно связанное с онтологией сознания человека. Возможны различные описания личности, которые полностью ее не могут исчерпать: личность не может быть сведена к своим описаниям, таким образом, она проявляет себя как сложная система.

В работе [4] идея личности и ее онтологии трактуется расширенно: Е. Н. Трубецкой рассматривает личность как носитель смысла, этот смысл через всеединство тесно связан с онтологией страны и онтологиями других личностей. Отметив эту особенность, автор работы [5] предлагает использовать такую связь для решения вопросов, связанных с безопасностью личности и общества. Столкновение интересов личности и государства — основная причина конфликтов в общественной жизни и деструктивного поведения личности. Конфликт происходит в умах людей и переходит в общественную жизнь. Поэтому основная причина деструктивного поведения личности — обострение конфликта между личностями и между личностями и государством. Умелое управление этим конфликтом позволяет направить деструктивное поведение в иные формы протекания конфликта, что может способствовать творческому развитию личности и совершенствованию общественных отношений.

С точки зрения системного рассмотрения нарастание проблем в социальных отношениях будет приводить к усилению деструктивного поведения отдельных людей. Следовательно, необходимо осуществлять мониторинг развития этих отношений в некоторых целевых группах и для этого использовать информацию, извлекаемую из интернет-сообщений. Как уже отмечалось выше, для такого анализа могут использоваться методы компьютерной лингвистики, при этом личности человека будет соответствовать множество представлений в поле текста, при этом возникает сложная задача связи этих представлений в единое целое, которая может быть решена с применением технологий Semantic WEB. Целостность и единство личности может стать одним из важных критериев нормализации общественных отношений, который может быть выражен при помощи SPARQL-запросов к компьютерной онтологии, аналогично тому, как это было сделано при определении семантических противоречий в документах [6]. Существование системных (на уровне личности) и мета-системных (на уровне личности и общества) противоречий как источников конфликтов представляется весьма важным и должно учитываться при создании таких моделей.

Для реализации информационных систем моделирования и прогнозирования конфликтного (в первую очередь) деструктивного поведения личности предлагается использовать подходы современной конфликтологии и методы создания гибридных информационных интеллектуальных систем (ГИИС).

В работе [7] отмечается, что новые риски в современном обществе определяются главным образом социально, они могут быть познаны только через

социальные связи. Отмечается тесная связь между социальными и политическими конфликтами. В этой работе анализируется развитие идей аутопоэзиса У. Матураны и Ф. Варелы и перенос их в социологию Н. Луманом.

Авторами работы [8] предложен подход к построению единой теории конфликта (ЕТК). Согласно этой теории, предлагается рассматривать конфликт как системное явление, который всегда возникает и разрешается в границах определенной системы взаимодействующих элементов. Утверждается, что конфликтов, не связанных с системами, не существует. В работе [8] дается обзор современных конфликтологических теорий и моделей конфликтов. Авторы этой работы предлагают собственную модель конфликтов, основанную на использовании теории графов, и модель управления конфликтами, основанную на применении теории игр и метаигр. Приводятся алгоритмы решения задач построения коалиций с использованием возможностей ЕТК.

ЕТК понимает конфликт как определенный дисбаланс системы с особыми структурными, вероятностными, динамическими и теоретико-игровыми характеристиками. Он представляет форму саморегуляции поведения систем — поиска, создания и перехода от не оправдавших себя форм поведения к новым ради достижения ими своих внутренних целей. Переход системы от одного устойчивого состояния к другому возможен только посредством возникновения и разрешения конфликта. Синергизм и антагонизм представляют собой варианты способов разрешения конфликтов. Конфликт — это разновидность саморегуляции, т. е. обусловленная внутренними причинами устойчивая тенденция системы возвращаться к состоянию нарушенного равновесия, баланса отношений между своими элементами. Способность конфликта служить фактором изменчивости, порождать новые возможности развития, быть причиной возникновения новых системных качеств предлагается использовать для построения многоагентных ГИИС с самоорганизаций.

Необходимо отметить ряд особенностей, которые надо учитывать при создании информационных систем моделирования и прогнозирования конфликтного поведения личности. В работе [9] рассматривается обратная связь между предсказанием и решением, которую следует учитывать в социологии и при прогнозировании поведения личности. Решение, в том числе принятое с учетом предсказания, может вызвать либо «самоосуществление» прогноза, либо, наоборот, «саморазрушение» его. Например, прогноз надвигающейся катастрофы — пусть даже ложный — способен вызвать панику и, действительно, катастрофу. С другой стороны, аналогичный прогноз — пусть даже верный сам по себе — способен вызвать эффективное противодействие надвигающейся катастрофе, помочь избежать ее или, по крайней мере, минимизировать ее масштабы. В прогнозировании это называется «эффект Эдипа». Накопление «несбывшихся надежд» (т. е. несбывшихся оптимистических прогнозов из прошлого) может привести к личностному кризису и проявлениям деструктивного поведения.

Конфликтообразующие свойства памяти не ограничиваются действием фантомных факторов. Помимо этого наблюдается опосредованное влияние памяти на возникновение конфликтов через механизмы принятия решений.

В работе [10] рассматриваются вопросы психологических исследований в области вынесения оценок и принятия решений. Учет поведенческих ловушек и иррационального поведения личности, влияющих на принятие решений, проблемы нарушений рационального мышления исследуются в работе [11]. Результаты этих работ необходимо учитывать для моделирования и прогнозирования конфликтного и деструктивного поведения личности в ГИИС.

В работе [12] дается изложение системной теории конфликта (СТК), которую можно считать развитием ряда положений ЕТК.

Для анализа внутриличностных и межличностных конфликтов авторы работы [12] предлагают рассматривать каждого человека в отдельности и социальные группы в виде многоуровневой стратифицированной системы, включающей три страты: тело, душу (или психику) и духовную основу (или дух). Наблюдаемое многообразие внутриличностных и межличностных конфликтов обусловлено: наличием нескольких и существенно различных механизмов принятия решений (инстинктивных, рефлексивных, интеллектуальных и интуитивных); специфическими особенностями реализации указанных механизмов принятия решений; наличием нескольких и принципиально различных механизмов обращения к памяти (интровертивных, экстравертивных и футуристических); фантомными свойствами памяти; различиями в темпераменте и эмоциях.

В работе [12] вводятся различные типы интеллектуальных агентов: интроверты, экстраверты и футурологи, отличающиеся способами принятия решений, а также по своему темпераменту (сангвиники, холерики, меланхолики и флегматики). Различия в темпераменте и в эмоциональном восприятии ситуаций сами по себе могут служить конфликтообразующим фактором, воплощающимся в противоречивые действия через механизмы принятия решений.

Вывод СТК о конфликтной организации психики человека обосновывает с точки зрения психологии подход к построению ГИИС, использующей элементы управляемого конфликта между ее агентами для достижения наиболее высокой эффективности. В такой ГИИС должны быть реализованы все перечисленные выше типы конфликтов между интеллектуальными агентами. Типизация внутриличностных и межличностных конфликтов, предлагаемая СТК, подлежит уточнению на этапе создания ГИИС. Стратифицированная модель личности, предлагаемая в СТК, позволяет легко перейти к моделям теории многоагентных ГИИС, созданной и развиваемой специалистами калининградской школы искусственного интеллекта [13].

Предлагается модель конфликтов, которая представляет ситуацию как результат взаимодействий различных агентов в сложной сети. Каждый агент оценивает риски и полезность от участия или отказа от участия в тех или иных конфликтах или коалициях. При развитии кризисных ситуаций в такой системе эти риски нарастают, и равновесные состояния достигаются при все больших значениях рисков. Задав пороги, мы можем оценить поведение моделируемой системы в целом. Выбор критериев для задания порога важен, его обоснованный выбор требует предварительного исследования. В качестве

наиболее перспективного подхода для задания порога можно отметить использование методов самообучения. При принятии решений учитывается рефлексия и саморефлексия участников конфликта, т. е. решения формируются с учетом того, как они будут восприняты теми агентами, управление которыми надо обеспечить.

В условиях перехода к цифровой экономике, внедрения аппаратно-программных средств и технологий «Интернета вещей» и «Индустрии 4.0» происходит замена людей на компьютерные системы, выполняющие роль интеллектуальных агентов. В подобных информационных системах, представляющих собой киберфизическую среду, в которой происходит взаимодействие людей, роботов и интеллектуальных агентов, возможно возникновение новых типов конфликтов, которые будет возможно моделировать и прогнозировать на основе предлагаемого подхода.

В качестве примера реализации подхода в докладе рассматривается семиотическая система выявления и прогнозирования деструктивного поведения личности на основе сообщений СМИ. Она выполняет анализ потоков текстовых сообщений, загружаемых с веб-сайтов и из закрытых источников. В этом потоке выявляются события, относящиеся к заданным инфологическим моделям конфликтов. На основе обнаруженных событий отслеживается развитие ситуаций и определение возможных сценариев их дальнейшего развития, а также подготовка предложений по управлению в условиях конфликтной ситуации. Приводятся примеры выявленных фактов противоправной деятельности отдельных лиц.

Список литературы

1. *Лысак И.В., Косенчук Л.Ф.* Формирование персональной идентичности в условиях сетевой культуры. М. : Спутник +, 2016.

2. *Леонтьев А.А., Шахнарович А.М., Батов В.И.* Речь в криминалистике и судебной психологии. М. : Наука, 1977.

3. *Волков В. Н.* Онтология личности : дис. … д-ра филос. наук. Иваново, 2001.

4. *Трубецкой Е.Н.* Смысл жизни / сост. П.П. Апрышко и А.П. Полякова. М. : Книжный клуб Книговек, 2015.

5. *Сергеев Н.А.* Моделирование и оценка эффективности технического обеспечения : учебное пособие. М. : ВА РВСН им. Петра Великого, 2004. Ч. 1: Концептуальные основы разработки системы военной безопасности Российской Федерации в новых военно-политических условиях.

6. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Рымарь В.С. и др.* Использование технологии Semantic Web в системе поиска несоответствий в текстах документов // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции : труды Восьмой Всероссийской научной конференции RCDL'2006 (г. Суздаль, 17—19 октября 2006 г.). Ярославль : Ярославский гос. ун-т им. П.Г. Демидова, 2006. С. 263—269.

7. *Бехманн Г.* Современное общество: общество риска, информационное общество, общество знаний. М. : Логос, 2010.

8. *Светлов В. А., Семенов В. А.* Конфликтология : учебное пособие. СПб. : Питер, 2011.

9. *Гендин А. М.* «Эффект Эдипа» и методологические проблемы социального прогнозирования // Вопросы философии. 1970. № 5. С. 80—89.

10. *Плаус С.* Психология оценки и принятия решений. М. : Филинъ, 1998.

11. *Станович И. К.* Рациональное мышление. Что не измеряют тесты способностей. М. : Карьера Пресс, 2012.

12. *Новосельцев В. И., Тарасов Б. В.* Системная теория конфликта : монография. М. : Майор, 2011.

13. *Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В.* Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН, 2014.

Д. В. Березкин[1], В. И. Терехов[2], И. М. Черненький[3]
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: [1]berezkind@bmstu.ru, [2]terekchow@bmstu.ru, [3]cheivan@mail.ru

МЕТОДЫ ГИБРИДНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ, АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОТОКОВ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

В последние годы существенно изменился формат публикаций данных в информационных системах. Сейчас это непрерывный поток информационных сообщений из различных источников, который необходимо обрабатывать как можно ближе к моменту публикации. В то же время произошло новое понимание того, как должны строиться системы обработки таких данных. И если ранее применялись принципы пакетной обработки и такие инструменты, как Apache Hadoop и Apache Spark, то сейчас для решения этой задачи они, несомненно, устарели. На первый план выходят средства потоковой обработки данных. Однако сейчас нет устоявшихся принципов построения систем потоковой обработки больших данных, ориентированных на глубокий анализ содержимого потока структурированной и не структурированной информации, поэтому одна из задач данной статьи — анализ применимости и выбор различных методов интеллектуального анализа потоков больших данных.

Проводимые нами исследования в этой области направлены на изучение методов ситуационного анализа и графической визуализации потоков больших данных. Обработка потоков больших данных возможна с применением гибридной интеллектуальной информационной системы (ГИИС), структура которой приведена на рисунке. На нем показано, что агенты-извлекатели осуществляют сбор информации с сайтов, из новостных лент, социальных сетей, изображений, видеопотока. Поскольку предполагается использование большого количества агентов-извлекателей, то архитектура системы изначально предполагает значительный объем трафика между агентами-извлекателями и звеном обработки данных. Поэтому необходимо использование фреймворков для обработки больших данных, ориентированных на потоковую обработку данных.

© Березкин Д. В., Терехов В. И., Черненький И. М., 2018

Рис. Структура ГИИС обработки потоков больших данных

Далее потоки больших данных передаются в информационный извлекатель, который осуществляет формирование единой обогащенной семантической модели, в том числе с применением алгоритмов машинного обучения. Затем данные помещаются в гетерогенное информационное хранилище, которое позволяет хранить и обрабатывать как необходимые для дальнейшего анализа первичные данные, так и полученную на их основе обогащенную семантическую модель. Гетерогенное информационное хранилище включает СУБД с графовой или гибридной моделью данных, а также вспомогательную СУБД для хранения первичной информации.

Информация из гетерогенного информационного хранилища поступает на вход ситуационного процессора, который реализует различные алгоритмы ситуационного анализа и прогноза на основе графовых моделей.

Результаты ситуационного анализа и прогноза могут быть представлены в удобной для лица, принимающего решение (ЛПР) форме. Для этого применяется ситуационный визуализатор, который использует метод динамического анаморфирования.

В работе [1] достаточно подробно рассматривались вопросы, посвященные анализу современных инструментальных средств обработки потоков больших данных, принципам хранения и обработки графовых моделей (с использованием стандартов семантического веба и хранилищ на их основе, с использованием СУБД на основе разновидностей классической графовой модели и на основе сложных графовых моделей), перспективам аппаратного ускорения операций над графами, методам ситуационного анализа и прогноза потоков больших данных, визуализации потоков больших данных и поддержки принятия решений с помощью метода динамического анаморфирования, реализованного с применением нейронной сети и генетического программирования. Недостаточное внимание было уделено вопросам формирования единой обогащенной семантической модели (второй блок ГИИС, рис.) и реализации динамической анаморфозы. Поэтому они будут рассмотрены в докладе более подробно.

Для того чтобы систематизировать и эффективно использовать информацию, содержащуюся в потоках больших данных, необходимо применять эффективные методы агрегирования и выделения наиболее важного содержания. Для этого предлагается использовать автоматические методы семантической интеграции разнородных данных на основе онтологических моделей. При таком подходе задача анализа потоков больших данных может быть сведена к задачам создания и динамического изменения онтологий предметных областей, их интеграции в единую онтологическую модель и автоматического извлечения информации, содержащейся в потоках первичных данных, которая соответствует этой онтологической модели. Технологии создания, ведения различных онтологий, их интеграции в единую модель и извлечения данных из различных источников были проработаны [2—4]. Представляется перспективным сочетание методов и средств онтологического моделирования с методами корреляционного, ассоциативного и причинного анализа, машинного обучения и распознавания образов, формирования рекомендательных решений по результатам анализа данных, теории графов, теории вероятностей и математической статистики, кластерного анализа и др. Такое сочетание можно реализовать на основе многоагентных интеллектуальных информационных систем с самоорганизацией.

В настоящее время онтологические модели успешно применяются для анализа больших данных в ряде предметных областей. Онтологический анализ становится одним из основных инструментов биоинформатики и системной биологии для семантической интеграции экспериментальных данных и знаний с целью построения «единой картины мира» [5].

Исследователи выделяют следующие задачи, в решении которых применение онтологий дает ощутимый эффект: интерпретация молекулярно-генетических знаний, семантическая интерпретация методов анализа данных и моделей в системной биологии; приоритезация генов, белков, биомаркеров и т. д.; анализ сходства и кластеризация объектов; поддержка интероперабельности и обмена знаниями; создание новых онтологий на основе повторного использования базовых канонических онтологий и различного типа операции с ними; обеспечение непротиворечивости и корректности представления знаний; поддержка индуктивного вывода для извлечения дополнительных знаний из множества фактов и тестирование гипотез; повышение аргументации методов биоинформатики, включая точное описание биомедицинских экспериментальных протоколов, методов анализа данных и моделирования биологических процессов и систем.

Еще одна область успешного применения онтологического подхода — современное сельскохозяйственное производство [6]. Наиболее актуальными, значительно влияющими на эффективность, качество продукции и ценовую конкуренцию в растениеводстве, являются задачи: разработка дневников агронома с системами поддержки принятия решения и основанных на использовании потоков больших данных по результатам агроскаутинга; прогнозная вегетация выращивания зерновых, основанная на геоданных и датчиках в

рамках Интернета вещей (IoT); оптимизация применения техники в полях для улучшения аэрации почвы, повышения урожайности посевов и снижения накладных расходов в цене конечного продукта.

При использовании больших данных в животноводстве оказывают дополнительное влияние такие факторы, как: биотехнологии и ГМО при выращивании животных и растений, что требует использования новейших технологий (в том числе информационных) и обработки большого объема данных исследований; ужесточение требований окружающей среды и регуляторов, таких как утилизация биоотходов, растущие требования к экологичности продуктов питания, нормативно устанавливаемые сроки хранения, защита от биологических заболеваний поголовья скота и многих других. Это требует детального мониторинга и многокритериального анализа данных, включая оперативную отчетность и средства реагирования; мониторинг и прогноз роста, лечения, кормления и подбора кормов, селекции и репродукции, удоя животных. Это требует применения комплексных информационных технологий с использованием сенсорных датчиков и IoT, с последующим анализом и прогнозированием всех аспектов выращивания животных, с помощью машинного обучения и нейронных сетей.

Примером успешного применения онтологий в сельском хозяйстве служат «умные фермы» в Нидерландах, где с помощью датчиков контролируются данные о коровах на молочных фермах [7].

При разработке и использовании онтологий для анализа больших данных целесообразно применять методы системной инженерии. Например, стандарт ISO 15288 позволяет эффективнее проектировать и использовать онтологии, а стандарт ISO 15926 может применяться для интеграции онтологий, разработанных для разных предметных областей, в единую базу знаний [4].

Очевидными достоинствами динамической анаморфозы в задачах ситуационного анализа и графической визуализации потоков больших данных являются [1]: уменьшение размерности задачи на количество локальных показателей различной физической природы, свернутых в интегральный показатель анаморфирования; возможность визуального моделирования и принятия решения с учетом изменяющихся во времени локальных или интегральных показателей различной физической природы; выявление скрытых закономерностей поведения во времени различных параметров решаемой задачи, неявным образом зависящих от интегрального показателя анаморфирования; возможность построения сценариев действий ЛПР на основе визуального пространственно-временного анализа динамической анаморфозы, учитывающего процессы, связанные с быстрой эволюцией локального или интегрального показателя; прогнозирования временного ряда локальных показателей с помощью генетического алгоритма на основе набора значений имеющегося временного ряда локальных показателей и набора базовых функций, служащих для построения синтаксического дерева, которое и является описанием прогнозной функции в аналитическом виде.

Наряду с указанными достоинствами имеются следующие особенности: высокая трудоемкость выполнения алгоритма $O(Z \cdot N(N \cdot P - 1))$, зависящая от количества шагов Z алгоритма для достижения погрешности ε, количества анаморфируемых ячеек N, количества вершин P каждой ячейки; нарушения целостности итогового изображения, при разнице показателей анаморфирования в соседних ячейках более чем в 10 раз.

Для устранения приведенных особенностей авторы предлагают использовать нейронную сеть с одним скрытым слоем и сигмоидальными активационными функциями, вычисляющую координаты анаморфированной ячейки. При этом обучающая выборка составляется из примеров, полученных расчетным методом анаморфирования с заданной погрешностью ε и представляет собой множество показателей ячеек в области, центром которой является рассматриваемая ячейка и координатами точек центральной ячейки. Такой подход позволяет сократить время расчета примерно в 10^3 раз и избежать проблем с нарушением целостности итогового изображения.

В настоящее время авторы исследуют возможности применения сверточных нейронных сетей различных архитектур в задачах ситуационного анализа и расчета динамической анаморфозы.

Представленный подход по решению задачи извлечения информации из потоков больших данных и формирования единой обогащенной семантической модели на основе онтологических моделей, а также использования нейронных сетей различных архитектур в задачах ситуационного анализа и визуализации создает основу для практической реализации ГИИС анализа и визуализации потоков больших данных.

Список литературы

1. *Пролетарский А.В., Березкин Д.В., Гапанюк Ю.Е. и др.* Методы ситуационного анализа и графической визуализации потоков больших данных // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2018. №2. С. 98—123.

2. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Симаков К.В.* Особенности проектирования модели и онтологии предметной области для поиска противоречий в правовых электронных библиотеках // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции : труды Шестой Всероссийской научной конференции RCDL'2004. Пущино, 2004. С. 93—102.

3. *Березкин Д.В.* Метод автоматизированного извлечения знаний из слабоструктурированных источников и его применение для создания корпоративных информационных систем // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сборник научных трудов 5-й Международной научно-технической конференции : в 2 т. М. : Физматлит, 2009. Т. 2. С. 705—719.

4. *Березкин Д.В.* Построение онтологического справочника отраслевого уровня с учетом рекомендаций стандарта ISO 15926 // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика : материалы 1-го международного симпозиума : в 2 т. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. Т. 2. С. 245—254.

5. *Подколодный Н.Л.* Онтологическое моделирование в биоинформатике и системной биологии // Труды Второго симпозиума «Онтологическое моделирование». М. : ИПИ РАН, 2011. С. 233—269.

6. *Прогноз* научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. URL: https://www.hse.ru/data/2017/02/06/1167349282/Прогноз%20научно-технической%20сферы.pdf

7. *Jack P.C. Verhoosel, Michael van Bekkum, Frits K. van Evert* Ontology Matching for Big Data Applications in the Smart Dairy Farming Domain // TNO Connected Business, Soesterberg, The Netherlands. URL: http://ceur-ws.org/Vol-1545/om2015_TSpaper5.pdf.

С.Л. Блюмин[1], А.В. Галкин[2], П.В. Сараев[3], А.С. Сысоев[4]
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
e-mail: [1]sabl@lipetsk.ru, [2]avgalkin82@mail.ru, [3]psaraev@yandex.ru, [4]anton_syssoyev@mail.ru

РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Введение

Под ремоделированием будем понимать построение модели объекта (функционирования объекта) на основе уже имеющейся модели [1]. Причины проведения ремоделирования: 1) упрощение модели для дальнейшего использования алгоритмов управления объектом (алгоритмы невозможно применить к имеющимся моделям); 2) упрощение проведения вычислений по модели; 3) унификация разноплановых моделей (приведение к моделям единого класса) с целью дальнейшего применения единых вычислительных алгоритмов [2] и др. Отличительная особенность данного подхода заключается в том, что при построении модели используется информация не о самом объекте или процессе его функционирования, а уже полученная каким-либо образом имитационная или математическая модель. Подходы к использованию существующих моделей объектов при построении новых применяются в суррогатном моделировании [3—4] и метамоделировании [5] по выделенным ранее причинам 1) и 2). Подход к унификации разнородных математических моделей, полученных различными методами моделирования и относящихся к различным классам моделей, таким как регрессионные, логические, дифференциальные уравнения и др., металлургического производства был предложен в [6].

1. Ремоделирование динамических объектов переменной структуры

Проведение ремоделирования для трансформации уже имеющихся моделей обладает рядом недостатков, таких как дополнительная потеря точности, отход от физического понимания моделируемого процесса и дополнительные вычислительные затраты в процессе преобразования моделей. Поэтому перед процессом ремоделирования нужно четко выделить цель его проведения и определить критерии эффективности [7]. В качестве таких критериев могут выступать адекватность (точность аппроксимации), устойчивость (изменение точности аппроксимации при изменении параметров исходной модели) и эффективность построения (вычислительные затраты, характеризующиеся объемом необходимых исходных данных и количеством битовых операций при построении ремоделирующей модели).

© Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В., Сысоев А.С., 2018

Одна из выделенных задач при проведении ремоделирования предполагает унификацию моделей разнородного класса. Такой подход находит применение при моделировании объектов переменной структуры. Модель объекта переменной структуры имеет вид

$$F(x)=\begin{cases} f_1(x),\ g(x)\in G_1, \\ f_2(x),\ g(x)\in G_2, \\ \dots \\ f_n(x),\ g(x)\in G_n, \end{cases}$$

т. е. конкретный вид зависит от выполнения условий $g(x)$. Область $G=\bigcup_{i=1}^{n} G_i$, где для любых значений i и j $G_i \cap G_j = \emptyset$, должна определять все возможные значения $g(x)$ для x из области определения $F(x)$. Обозначим через X_i множество значений x, для которых $g(x)\in G_i$. Тогда задача ремоделирования объекта переменной структуры ставится следующим образом: для исходной модели $F(x)$ необходимо подобрать модель из ремоделирующего класса $\tilde{F}(x,\theta)$, наиболее точно приближающую исходную для всех значений $x\in\bigcup_{i=1}^{n} X_i$. Параметры θ однозначно определяют объекты ремоделирующего класса.

Подход к процессу ремоделирования следующий: на первом этапе выбирается множество входных величин x (одним из вариантов подходящих для полиномиального ремоделирующего класса являются методы планирования экспериментов); на втором этапе выбранные входы подаются в исходную модель для формирования вход-выходных значений $(x_i, F(x_i))$; на третьем этапе по определенному набору вход-выходных значений $(x_i, F(x_i))$ и выбранной структуре ремоделирующего класса $\tilde{F}(x,\theta)$ определяются параметры θ таким образом, чтобы минимизировать отклонения построенной модели от исходной $\left\|F(x)-\tilde{F}(x,\theta)\right\|$.

Такой подход универсален в случае статических моделей. Если же среди набора входов x встречается время, то проведение ремоделирования по описанным выше действиям может приводить к большой погрешности, характеризуемой величиной $\left\|F(x)-\tilde{F}(x,\theta)\right\|$, вследствие того, что никак не учитывается динамика процессов. Для учета динамики можно воспользоваться следующей модификацией этапов проведения ремоделирования: при формировании вход-выходных значений выделять среди входов x время t и добавлять в качестве входов значения исходной функции в предыдущие моменты времени. В этом случае набор данных для построения модели из ремоделирующего класса примет вид $\{(x_i, t_i, F(x_i, t_{i-1}),\dots, F(x_i, t_{i-k})), F(x_i, t_i)\}$. Для сохранения постоянной структуры входных данных при ремоделировании необходимо постоянное значение величины k — количества предыдущих моментов времени, в которых используется значение исходной функции для формирования вход-выходных значений.

2. Пример ремоделирования динамических объектов переменной структуры. Описание модели

Пример динамического объекта переменной структуры — инерционный трансформатор вращающего момента (ИТВМ) [8]. ИТВМ представляет собой автоматическую бесступенчатую коробку передач. Работа ИТВМ циклична. Каждый цикл состоит из четырех этапов. Каждый из этапов описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений.

Система дифференциальных уравнений, описывающих первый этап [9]:

$$\begin{cases} B_1(\psi)\ddot{\varphi}_{21} + B_2(\psi)\ddot{\varphi}_{22} - B_4(\psi)(\dot{\varphi}_{21} - \dot{\varphi}_{22})^2 + B_6(\psi)\dot{\varphi}_{22}^2 = M_Д; \\ B_2(\psi)\ddot{\varphi}_{21} + B_3\ddot{\varphi}_{22} - B_6(\psi)\dot{\varphi}_{21}^2 = 0; \\ J_П\ddot{\varphi}_1 = -M_C. \end{cases} \quad (1)$$

Система дифференциальных уравнений, описывающих второй этап [9]:

$$\begin{cases} B_1(\psi)\ddot{\varphi}_{21} + B_2(\psi)\ddot{\varphi}_{22} - B_4(\psi)(\dot{\varphi}_{21} - \dot{\varphi}_{22})^2 + B_6(\psi)\dot{\varphi}_{22}^2 = M_Д; \\ B_2(\psi)\ddot{\varphi}_{21} + B_5\ddot{\varphi}_{22} - B_6(\psi)\dot{\varphi}_{21}^2 = -M_C. \end{cases} \quad (2)$$

Система дифференциальных уравнений, описывающих третий этап, совпадает с системой (1). Система дифференциальных уравнений, описывающих четвертый этап, имеет вид [9]

$$\begin{cases} B_1(\psi)\ddot{\varphi}_{21} - B_4(\psi)\dot{\varphi}_{21}{}^2 = M_Д; \\ J_П\ddot{\varphi}_1 = -M_C, \end{cases} \quad (3)$$

где φ_i, $\ddot{\varphi}_i$ — обобщенные координаты и обобщенные скорости ведущего и ведомого валов, реактора; $B_1(\psi) = J_{21} + nme^2 + 2nmed(1+a)\cos\psi + nJ_Г(1+a)^2$, $B_2(\psi) = -anJ_Г(1+a) - nmaed\cos\psi$, $B_3 = J_{22} + nJ_Г a^2$, $B_4(\psi) = nmaed(1+a)\sin\psi$, $B_5 = B_3 + J_П$, $B_6(\psi) = nmaed\sin\psi$, $\psi(t) = a(\varphi_{21} - \varphi_{22})$, a — внутреннее передаточное отношение; n — число грузовых звеньев; m — масса грузового звена; d — расстояние от оси вращения грузового звена до его центра тяжести; e — расстояние от оси вращения ИТВМ до оси вращения грузового звена; J_{21} — приведенный момент инерции ведущих элементов; J_{22} — приведенный момент инерции ведущей части реактора; $J_П$ — приведенный момент инерции ведомых элементов; $J_Г$ — приведенный момент инерции грузового звена. Начальные условия для первого участка $\varphi_{21}(0) = \varphi_{210}$, $\dot{\varphi}_{21}(0) = \dot{\varphi}_{210}$, $\varphi_{22}(0) = \varphi_{220}$, $\dot{\varphi}_{22}(0) = \dot{\varphi}_{220}$, $\varphi_1(0) = \varphi_{10}$, $\dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_{10}$. В качестве начальных значений для последующих участков используются конечные значения предыдущих участков, что вытекает из непрерывности процесса.

Условия перехода с этапа на этап: с первого на второй этап — достижение угловой скорости реактора угловой скорости ведомого вала $\dot{\varphi}_1(t_1) = \dot{\varphi}_{22}(t_1)$; со второго этапа на третий этап — изменение угла поворота сателлита в относительном движении на π радиан $\varphi_{21}(t_2) - \varphi_{22}(t_2) = \pi / a$; с третьего этапа на

четвертый этап — достижение угловой скорости реактора нуля $\dot{\varphi}_{22}(t_3) = 0$; окончание четвертого этапа (окончание цикла) изменение угла поворота сателлита в относительном движении на 2π радиан $\varphi_{21}(t_4) - \varphi_{22}(t_4) = 2\pi / a$.

Системы дифференциальных уравнений (1) — (3) не имеют точного аналитического решения. На рисунке 1 приведено решение, получаемое методом Рунге-Кутты четвертого порядка с переменным шагом интегрирования [10].

В задачах оптимизации рабочего процесса ИТВМ [11] требуется определить набор значений параметров модели, которые обеспечивают быстрый выход рабочего процесса в устоявшийся режим. Решение задачи оптимизации усложняется тем, что модель функционирования меняется и не имеет явного аналитического решения. Получение явного аналитического решения позволит расширить возможности применения различных методов оптимизации. Построение такого решения можно проводить на основе сформированных по имеющейся модели вход-выходных значений.

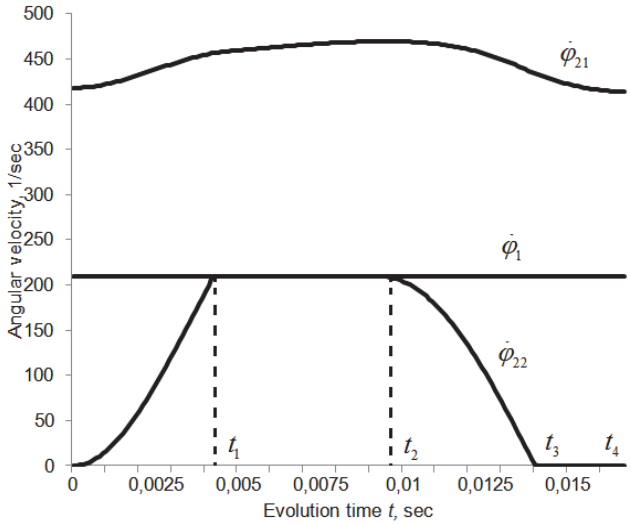


Рис. 1. Изменение угловых скоростей вращения ведущего вала, реактора и ведомого вала

3. Построение модели из ремоделирующего класса и анализ устойчивости

В качестве ремоделирующей структуры для моделей (1)—(3) использована нейронная сеть. Проведенные ранее исследования [12—14] показали, что лучшие по точности результаты для рассматриваемой задачи дает нейронная сеть прямого распространения со скрытым слоем, состоящим из 100 нейронов, и использующая сигмоидную функцию в качестве функции активации:

$$y_k = \sigma\left(\sum_{j=1}^{100} w_j \cdot \sigma\left(\sum_{m=1}^{3} w_{jm} x_m\right)\right), \qquad (4)$$

где $y_k = \{\dot{\varphi}_{21}(t), \dot{\varphi}_{22}(t), \dot{\varphi}_1(t)\}$, $x_m = \{J_{22}, i, t, \dot{\varphi}_{21}(t-1), \dot{\varphi}_{22}(t-1), \dot{\varphi}_1(t-1)\}$,

$\sigma(net) = \dfrac{1}{1+\exp(-net)}$ — сигмоидная функция активации.

Использование на входе значений выходов с предыдущего момента времени позволяет учесть динамику аппроксимируемой модели. В этом случае задача ремоделирования сводится к задаче параметрической идентификации модели (4), т. е. к нахождению весовых коэффициентов w_j и w_{jm}.

В качестве начальных значений параметров модели были выбраны $\varphi_{210} = 0$ с$^{-1}$, $\dot{\varphi}_{210} = 418$ с$^{-1}$, $\varphi_{220} = 0$ с$^{-1}$, $\dot{\varphi}_{220} = 0$ с$^{-1}$, $\varphi_{10} = 0$ с$^{-1}$, $\dot{\varphi}_{10} = i \cdot \dot{\varphi}_{210}$ с$^{-1}$, J_{21}= 0,2645 кг·м^2, n = 5, a = 1,13 м, m = 1,205 кг, e = 0,099 м, $J_П$= 10,3 кг·м^2, d = 0,0188 м, $M_Д = 130$ Н·м, $M_C = M_Д / i$, $J_П$= 0,00196 кг·м^2. Варьировались следующие параметры: приведенный момент инерции ведущей части реактора J_{22} и передаточное отношение i. Были сформированы три различных набора данных вход-выходных значений, использованные затем в качестве обучающих выборок при исследовании устойчивости получаемых при ремоделировании моделей.

Для построения первой нейронной сети (Модель I) была использована 3251 реализация процесса, для построения второй сети (Модель II) — 3147 реализаций и для построения третьей сети (Модель III) — 3408 реализаций процесса. В качестве тестовой выборки применялись результаты решения аналитической модели, полученные методом Рунге-Кутты, для параметров: время $t = \{0,0001,\ 0,0002,...,\ 0,0156\}$, i = 0,4, J_{22} = 0,03. Сравнение результатов, полученных решением уравнений модели (1)—(3) методом Рунге-Кутты, и результатов, полученных по построенным при ремоделировании моделям I-III, представлены на рисунке 2. Анализ приведенных графиков позволяет судить о схожести полученных результатов.

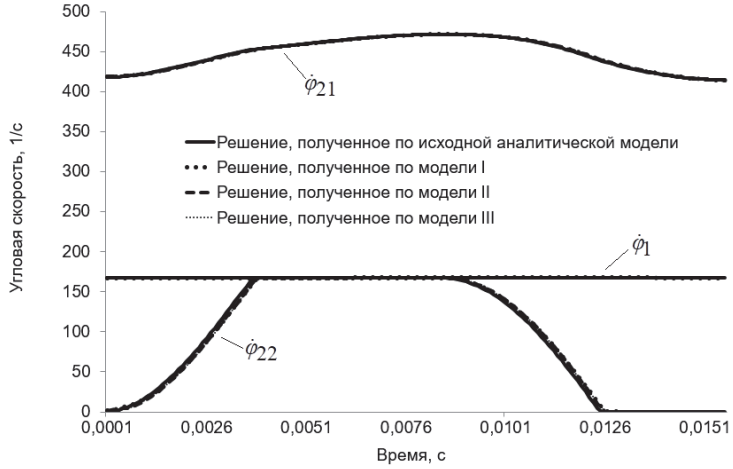


Рис. 2. Графики угловых скоростей, полученных методом Рунге-Кутты и нейросетевыми моделями

Дальнейшее сравнение моделей с целью подтверждения устойчивости метода проводилось в несколько этапов. На первом этапе сравнивались серии весовых коэффициентов полученных моделей. Для одного выхода каждой из моделей получено 605 весовых коэффициентов. На рисунках 3—5 приведены графики размахов для попарного отклонения коэффициентов моделей. Близость медианных значений размахов к нулю говорит о высокой устойчивости полученных коэффициентов.

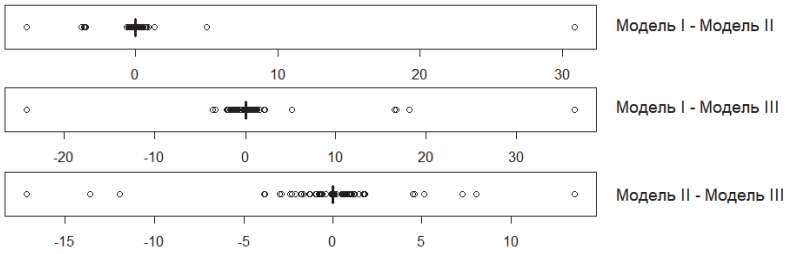


Рис. 3. Попарное сравнение коэффициентов моделей: выход $\dot{\varphi}_{21}(t)$

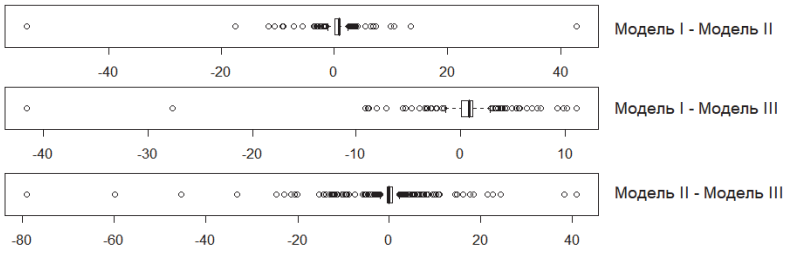


Рис. 4. Попарное сравнение коэффициентов моделей: выход $\dot{\varphi}_{22}(t)$

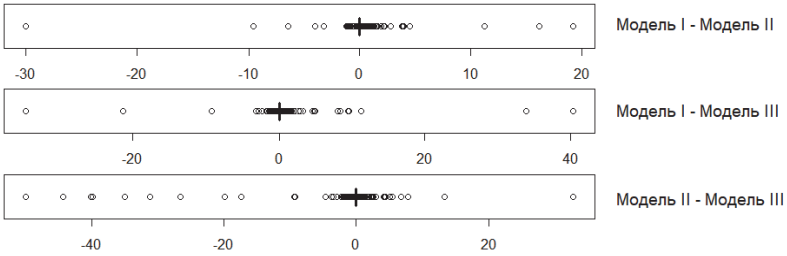


Рис. 5. Попарное сравнение коэффициентов моделей: выход $\dot{\varphi}_{1}(t)$

На втором этапе сравнивались отклонения полученных решений по моделям I—III от численного решения систем дифференциальных уравнений (1)—(3). Исследовалось процентное значение попадания выходов, полученных с помощью моделей I—III, в границы точного решения: для выхода $\dot{\varphi}_{21}(t)$ — с возможными отклонениями 0,5 % вправо и влево, для выхода $\dot{\varphi}_{22}(t)$ — с возможными отклонениями 15 % вправо и влево, для выхода

$\dot{\varphi}_1(t)$ — с возможными отклонениями 0,5% вправо и влево от точного решения. Результаты сравнения представлены в таблице 1. Согласно результатам, все модели дают схожие значения для заданных границ попадания.

Таблица 1

Сравнение результатов попадания выходов ремоделирующих моделей в границы точного решения

Выход		$\dot{\varphi}_{21}(t)$	$\dot{\varphi}_{22}(t)$	$\dot{\varphi}_1(t)$
Отклонения вправо и влево от точного решения, %		0,5	15	0,5
Точность ремоделирования, %	Модель I	100	76,9	100
	Модель II	100	71,2	100
	Модель III	100	83,3	100

Затем сравнивались отклонения моделей I—III от точного решения по критерию Акаике [15]. Информационный критерий Акаике используется для сравнения нескольких моделей по остаткам с учетом количества идентифицируемых коэффициентов и реализаций процесса. Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения информационного критерия Акаике в сравнении моделей I—III и точного решения

Модель	$\dot{\varphi}_{21}(t)$	$\dot{\varphi}_{22}(t)$	$\dot{\varphi}_1(t)$
I	1803,91	2353,98	528,92
II	1797,17	2358,04	522,25
III	1791,05	2371,89	525,69

Наблюдается незначительный разброс значений критерия Акаике для выходов моделей, что говорит о высокой устойчивости полученных ремоделирующих структур.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 17-47-480305 р_а.

Список литературы

1. *Сараев П.В., Блюмин С.Л., Галкин А.В.* Некоторые современные подходы к моделированию и автоматизации сложных систем // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2017. № 1. С. 53—66.

2. *Сараев П.В., Галкин А.В.* Ремоделирование и трансформация моделей в нейронечеткие // Наукоемкие технологии и инновации : междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 2016. Ч. 7. С. 62—66.

3. *Kuleshov A.P., Bernstein A.V., Burnaev E.V.* Adaptive models of complex systems based on data handling // Proceedings of the 3rd International Conference on Inductive Modelling. Kyiv, 2010. P. 64—71.

4. *Бурнаев Е.В., Приходько П.В.* Методология построения суррогатных моделей для аппроксимации пространственно неоднородных функций // Труды МФТИ. 2013. Т. 5, вып. 4. С. 122—132.

5. *Wang G.G., Shan S.* Review of Metamodeling Techniques in Support of Engineering Design Optimization // Journal of Mechanical Design. 2006. № 129(4). P. 370—380.

6. *Блюмин С.Л., Барышев В.Г., Коцарь С.Л. и др.* Применение несимметричного ортогонального планирования при исследовании процессов прокатки // Первая Всесоюзная научно-техническая конференция «Применение ЭВМ в металлургии». М. : МИСиС, 1973. С. 118—119.

7. *Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В.* Формализация критериев качества математического ремоделирования динамических систем // Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления МКПУ-2017. Ростов н/Д : Южный федеральный университет, 2017. Т. 1: Модели, методы и технологии интеллектуального управления (ИУ-2017). С. 33—35.

8. *Баженов С.П.* Бесступенчатые передачи тяговых и транспортных машин : учеб. пособие. Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2003.

9. *Галкин А.В.* Математическое моделирование и оптимизация рабочего процесса инерционного трансформатора вращающего момента // Системы управления и информационные технологии. 2008. Т. 31, № 1.3. С. 345—349.

10. *Галкин А.В., Дятчина Д.В.* Численное решение математических моделей объектов, заданных составными системами дифференциальных уравнений. URL: http://www.science-education.ru/100-5196.

11. *Галкин А.В.* Оптимизация работы сложных динамических систем // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2012. Т. 27, № 1. С. 29—32.

12. *Galkin A., Sysoev A., Saraev P.* Variable Structure Objects Remodelling based on Neural Networks // 2017 International Conference On Industrial Engineering, Applications And Manufacturing (ICIEAM 2017). IEEE, 2017. P. 1533—1536.

13. *Saraev P.V., Blyumin S.L., Galkin A.V. et al.* Neural remodelling of objects with variable structures // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 679. P. 141—149.

14. *Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В. и др.* Применение математического ремоделирования к динамическим системам // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2017. Т. 7. С. 55—60.

15. *Akaike H.* A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. 1974. Vol. 19. P. 716. 723 c.

С.Л. Блюмин, А.К. Погодаев, А.С. Приньков, Е.Л. Хабибуллина
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
e-mail: sabl@lipetsk.ru

ОБРАБОТКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Введение

Естественный язык (ЕЯ) — наиболее распространенный инструмент коммуникации среди людей. Его главное отличие от формального языка или других типов знаковых систем — это то, что он не был создан осознанно и целе-

© Блюмин С.Л., Погодаев А.К., Приньков А.С., Хабибуллина Е.Л., 2018

направленно, а появился, в некотором смысле, стохастически как необходимое средство представления и передачи мыслей, обусловленное в первое время повседневными потребностями и развитое в дальнейшем для формирования и передачи через длительные промежутки времени, например, научных знаний и произведений искусства, поэтому он обладает крайне сложной структурой, которая имеется у всех физических и ментальных систем, образованных и меняющихся в реальном времени под давлением естественного отбора (в широком смысле). Такой язык эволюционировал неразрывно со всей культурой, являясь ее главным носителем и, можно сказать, ядром. Это не единственная и тем более не исключительная особенность, но в рамках исследования со строгой формализацией и привлечением математических методов при представлении языковых единиц в виде чисел и числовых последовательностей или же, например, в виде логических предикатов данная особенность является ключевой и детерминирует отсутствие строго определенных правил языка и неструктурированность, которые в свою очередь вместе с большими объемами данных влекут ad hoc необходимость использования специальных математических методов, также известных как методы анализа больших данных (Big Data). Исследованию и формализации ЕЯ посвящено множество работ, в том числе [1—4].

Для изложения данной статьи достаточно следующих, ограничивающих общность, тезисов. Текст на ЕЯ — некоторая реплицируемая культурной единица и, в свою очередь, разбивается на набор предложений, в дальнейшем слов. Каждое предложение, как и слово, несет в себе определенную информацию, предысторию, свойства, и только при рассмотрении текста как целостной системы возникает характерная ему уникальность, определенная структурой и информацией, в общем случае невыводимой из элементов его декомпозиции. Такие свойства называют системными или эмерджентными свойствами. Кроме того, как было сказано, анализ текстов сопряжен с анализом большого объема данных, который к тому же является плохо структурированным, при переводе текстовой информации в пригодную для применения численных и статистических методов, в числовую. В работе [5] было показано, что гибридные интеллектуальные информационные системы (ГИИС), основанные на метаграфовом представлении, могут быть применены для эффективного решения такого рода задач.

Одно из таких свойств, присущих тексту, — эмоциональная окраска. Для апробации результатов и практических вычислений в этой работе использован набор данных, подготовленный в Стэнфордском университете [6] и представляющий собой рецензии и отзывы на кинофильмы, взятые с популярного веб-сайта Rotten Tomatoes. Название сайта образовано от англосаксонской традиции кидать гнилыми помидорами в артистов, которые не понравились публике. Определение эмоций автора текста само по себе — сложная задача и, кроме того, усложняется такими фигурами речи, как сарказм, эвфемизм, пафос и т. д. Большинство систем прогнозирования настроения высказывания работают просто, вычленяя изолированные слова и классифицируя их как положительные или отрицательные в эмоциональном плане, а затем просто

суммируют и выдают ответ в зависимости от положения суммы относительно нуля. Авторы набора данных предлагают решение, основанное на использовании рекурсивной нейронной сети глубинного обучения, которая строится поверх грамматических структур и анализирует предложения и текст в целом как систему.

Цель данной статьи — рассмотрение практических аспектов применения ГИИС в задачах обработки и классификации текста на естественном языке, а также развитие методов анализа больших данных и графоструктурного моделирования.

1. Гибридные интеллектуальные системы и их графоструктурное представление

Графовая структура — это структура, основанная на множестве элементов, которые в свою очередь также могут быть множествами, и множестве произвольной структуры, однозначно определяющее связи между элементами. К таким структурам можно отнести графы, гиперграфы, метаграфы и т. д. Графоструктурное представление — это такое представление, которое описывает системы с помощью графовой структуры. В зависимости от постановки прикладной задачи, сложности системы и особенностей предметной области для моделирования систем могут быть применены различные графоструктурные подходы. Помимо этого сами графовые структуры также могут быть представлены несколькими способами, причем они напрямую влияют на эффективность вычислений и возможность интерпретации промежуточных и конечного результатов. Поэтому эффективность того или иного решения непосредственно зависит от выбора структурного представления ГИИС и способа записи этой структуры.

Для дальнейшего изложения приведены теоретико-множественные определения основных графовых структур. Метаграф — множество $MG = \langle V, ME \rangle$, где V — множество вершин; ME — множество метаребер и $ME \subseteq B(\bigcup_{i=1}^{n} B(V, i), 2)$ [7]. Для любого метаграфа $MG = \langle V, ME \rangle$ можно получить однозначную до изоморфизма эквивалентную запись с выделением метавершин как отдельных сущностей $MG = \langle V, MV, ME \rangle$, где MV (множество метавершин) — множество, состоящее из всех множеств вершин, включенных в метаребра данного метаграфа.

Граф — это множество $\langle V, E \rangle$, где $E \subseteq B(V, 2)$ [8]. Отсюда следует, что любое ребро графа — это метавершина, состоящая ровно из двух элементов, и граф — это такой метаграф, что

$$G\langle V, E \rangle = MG\langle V, MV, ME \rangle,$$

где $ME = \varnothing$, а $MV \subseteq B(V, 2)$ и E равны с точностью до перестановки. В [9] сформулированы и доказаны изоморфизмы наиболее популярных классов графов и метаграфов.

Гиперграф определен как $\langle V, HE \rangle$, где $HE \subseteq \bigcup_{i=1}^{n} B(V,i)$. Любое гиперребро — это не что иное, как метавершина, а любой гиперграф — это такой метаграф, что

$$HG\langle V, HE \rangle = MG\langle V, MV, ME \rangle,$$

где $ME = \varnothing$, а $MV \subseteq \bigcup_{i=1}^{n} B(V,i)$ и HE равны с точностью до перестановки.

Графовые структуры удобно представлять матрицами. Для такого представления популярны матрицы инцидентности (I), смежности (A), валентности (D) и лапласиан (L), которые связаны равенством $I \cdot I^{\tau} = L = A + D$ [10; 11]. При переходе от одного матричного представления к другому происходит ремоделирование в рамках одной графовой структуры. В [12] указана связь между матричными представлениями разных графовых структур как частных случаев итергафов. Например, для метаграфа матрица инцидентности определяется как $I(V, ME) = I(V, E) \cdot I(MV, ME)$.

Большинство сложных задач интеллектуального анализа данных ставится таким образом, что адекватное решение возможно исключительно при использовании нескольких искусственных интеллектуальных систем (ИИС), работающих как одно целое, так называемых ГИИС [13—15]. Для конструирования подобного рода ГИИС возможно последовательное применение алгоритмов к исходным данным, такие системы моделируются с помощью графов, иными словами, это тогда, когда ГИИС имеет линейное графоструктурное представление, где вершины последовательно связаны между собой, при этом возможны петли и циклы. Для представления более сложных интеллектуальных систем, например, когда одна ИИС может модифицировать другую в зависимости от результатов обработки исходных данных в текущий момент времени или когда ГИИС может дифференцироваться на другие ГИИС, которые, в свою очередь, также имеют произвольную структуру, необходимо применять более развитые графовые структуры — такие, как гиперграфы, метаграфы. Это также важно, когда нужно параллельно применить несколько алгоритмов из одного класса и корректно совместить результаты в один для дальнейшего исследования.

Приведем пример графоструктурного представления ГИИС. Дан граф $G = \langle V, E \rangle = \left\langle \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}, \left\langle \{v_1, v_2\}, \{v_1, v_3\}, \{v_2, v_3\}, \{v_2, v_4\}, \{v_3, v_4\}, \{v_4, v_5\} \right\rangle \right\rangle$, представляющий структуру ИИС, ГИИС или исходных данных.

Приведем модель к гиперграфовому виду (рис. 1).

Далее, используя алгоритм из [5], преобразуем модель к метаграфовому виду (рис. 2).

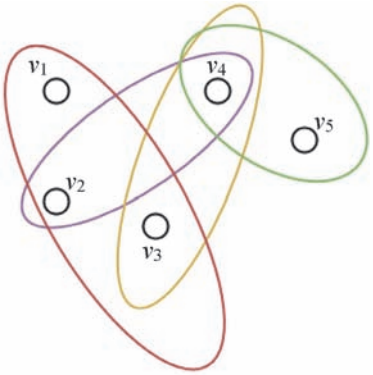


Рис. 1. Гиперграфовая модель ГИИС

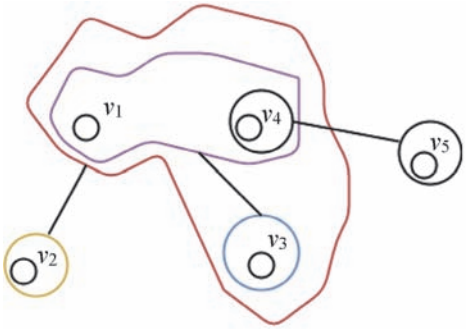


Рис. 2. Метаграфовая модель ГИИС

2. Предварительная обработка данных и классификация

Для того чтобы оперировать текстом, необходимо его представить в виде. Иначе говоря, нужно применить лексический анализатор, переводящий произвольный текст x в численный вид x', к набору исходных данных

$$x' = g(x), \quad g : L \to R^{n_1},$$

где L — это множество допустимых синтаксических конструкций естественного языка. Также для извлечения, преобразования и нормализации данных используются следующие виды отображений-трансформаторов:

$$x_2' = h(x_1'), \quad h : R^{n_1} \to R^{n_2} .$$

При последовательном применении g_1, а затем h_1 получается суперпозиция $h_1(g_1(x))$. Тогда следует принять тот факт, что $h_1 : R^{n_1} \to R^{n_2}$, а, следовательно, при последовательном применении мы можем использовать только один лексический анализатор. Процесс предварительной обработки данных можно записать как

$$h_n(...(h_1(g_1(x)))), \quad g_1 : L \to R^{n_1}, \quad h_i : R^{n_i} \to R^{n_{i+1}} .$$

Такое использование полностью покрывается графовыми моделями, но не является единственно возможным. Для параллельной обработки данных необходимо использовать метаграфовую структуру ГИИС. Тогда

$$x' = Gx = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_{n-1} \\ g_n \end{pmatrix}^{\tau} \cdot \begin{pmatrix} x & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & x & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \\ \vdots \\ g_{n-1}(x) \\ g_n(x) \end{pmatrix}^{\tau} .$$

После чего получится разреженная матрица, которую необходимо преобразовать в векторную форму

$$x_g^{'} = m_g(x^{'}),\ \ m_g : R^{n_1 \times n} \to R^{n^{'}},$$

к которой можно применить отображения-трансформаторы либо последовательно

$$h_n(...(h_1(m_g Gx))),\ \ m_g G : L \to R^{n_1},\ \ h_i : R^{n_i} \to R^{n_{i+1}},$$

либо параллельно

$$x_h^{'} = Hm_g(Gx) = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_{n-1} \\ h_n \end{pmatrix}^{\tau} \cdot m_g \left(\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_{n-1} \\ g_n \end{pmatrix}^{\tau} \cdot \begin{pmatrix} x & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & x & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & x \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} h_1(x_g^{'}) \\ h_2(x_g^{'}) \\ \vdots \\ h_{n-1}(x_g^{'}) \\ h_n(x_g^{'}) \end{pmatrix}^{\tau}.$$

В случае параллельного применения отображений-трансформаторов следует также использовать агрегирующую функцию, как и в случае с синтаксическими анализаторами:

$$x_h^{'} = m_h(x^{'}),\ \ m_{h:} : R^{n_2 \times n} \to R^{n^{'}}.$$

Важно заметить, что и к $x_h^{'}$, и к $x_g^{'}$ можно неограниченное число раз применять как последовательное, так и параллельное преобразование отображениями-трансформаторами.

Рассмотрим решение практической задачи. Формат исходных данных показан в таблице.

Исходные данные

PhraseId	SentenceId	Phrase	Sentiment
1	1	A series of escapades demonstrating the adage ...	1
2	1	demonstrating the adage	2
…	…	…	…
156060	8544	avuncular chortles	3

Обозначения: PhraseId — уникальный номер синтаксической единицы (высказывания), которую нужно классифицировать; SentenceId — предложение, к которому относится это высказывание; Phrase — высказывание; Sentiment — эмоциональная окраска (0 — отрицательная, 1 — скорее отрицательная, 2 — нейтральная, 3 — скорее положительная, 4 — положительная).

Построим ГИИС для предварительной обработки данных, состоящую из трех метавершин:

$$MG = \left\langle \{h_1, h_2, h_3, g_1, g_2, g_3, g_4\}, \left\langle \left\langle \{h_2, h_3\}, \{g_1, g_2, g_3, g_4\} \right\rangle, \left\langle \{h_1\}, \{h_2, h_3, g_1, g_2, g_3, g_4\} \right\rangle \right\rangle \right\rangle,$$

где g_1, g_2, g_3, g_4 — лексические анализаторы, а h_1, h_2, h_3 — трансформаторы.

Методы математической статистики работают исключительно с численными данными либо же с данными другого формата, корректно представленными в виде чисел, поэтому необходимо перевести текст на естественном языке в пригодную форму. Простейший вариант — это закодировать слова подряд идущими натуральными числами. Например, «A» = 1, «series» = 2 и т. д. Данный подход обладает рядом недостатков. Во-первых, невозможно представлять словосочетания и предложения, учитывая входящие в него слова, хотя это крайне необходимо при анализе эмоциональной окраски. Во-вторых, слова будут необоснованно схожи только потому, что они находятся близко по порядку.

В связи с этим было решено использовать для кодирования слов равноудаленные векторы. Например, «A» = (1, 0, 0, ...), «series» = (0,1,0,0,0...). Для вычленения семантических единиц будут применяться методы для извлечения *N*-грамм.

N-грамма — последовательность из n элементов. С семантической точки зрения это может быть последовательность звуков, слогов, слов или букв. На практике чаще встречается *N*-грамма как ряд слов, устойчивые словосочетания называют коллокацией. Последовательность из двух последовательных элементов часто называют биграмма, последовательность из трех элементов называется триграмма. Не менее четырех и выше элементов обозначаются как *N*-грамма, *N* заменяется на количество последовательных элементов [16, с. 35].

И наконец, чтобы представлять, помимо слов, более сложные семантические единицы, что обусловливается необходимостью классификации высказывания как части сложной системы — текста, были использованы методы задания норм на пространстве высказываний естественного языка при помощи статистической меры TF-IDF и подобных ей. TF-IDF (от англ. TF — term frequency, IDF — inverse document frequency) — статистическая мера, применяемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов или корпуса. Вес некоторого слова пропорционален количеству употребления этого слова в документе и обратно пропорционален частоте употребления слова в других документах коллекции. Мера TF-IDF часто используется в задачах анализа текстов и информационного поиска, например, как один из критериев релевантности документа поисковому запросу, при расчете меры близости документов при кластеризации.

TF (term frequency — частота слова) — отношение числа вхождений некоторого слова к общему числу слов документа. Таким образом, оценивается важность слова t_i в пределах отдельного документа

$$tf(t,d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k}.$$

IDF (inverse document frequency — обратная частота документа) — инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах коллекции. Основоположник данной концепции — Карен Спарк Джонс. Учет IDF уменьшает вес широкоупотребительных слов. Для каждого уникального слова в пределах конкретной коллекции документов существует только одно значение IDF [16, с. 278]:

$$idf(t, D) = \log \frac{D}{|\, d_i \in D \,|\, t \in d_i \,|}.$$

Таким образом, мера TF-IDF — произведение двух сомножителей:

$$tfidf(t, d, D) = tf(t, d) \cdot idf(t, D).$$

Пусть $g_1 = tfidf$, где в качестве *N*-граммы используется разбиение по словам, а $g_2 = tfidf$, где в качестве *N*-граммы используется разбиение по буквам. Причем при подгонке и использовании модели для каждого лексического анализатора можно применять различные *N*-граммы. Пусть g_3, g_4 представляют собой функции подсчета количества *N*-грамм слов или последовательностей символов, встречающихся в генеральной совокупности. В итоге получим

$$G = (g_1, g_2, g_3, g_4).$$

После параллельного применения Gx получим матрицу $x' \in R^{156060 \times 15362}$, которая является сильно разреженной. h_1, h_2, h_3 — трансформаторы для масштабирования входных векторов до единичной нормы, использующие $l_1, l_2, \max$ нормы соответственно.

Структура полученной ГИИС отображена на рисунке 3.

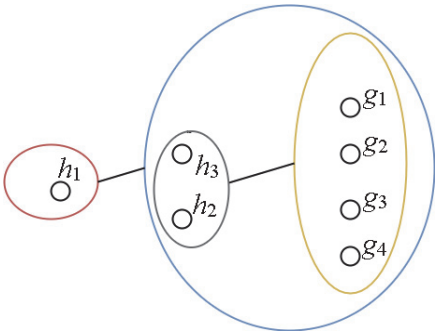


Рис. 3. ГИИС для предварительной обработки текстовых данных

Признак f объекта x — это отображение $f : X \to Y$, где X — множество объектов, а Y — множество признаков. В нашем случае $Y = \{0,1,2,3,4\}$. Поскольку получилась разреженная матрица большого размера, то для классификации было решено использовать регуляризованную линейную модель с

обучением на основе оптимизатора стохастического градиентного спуска. В результате качество модели получилось порядка 84 % на тренировочной и 67 % на тестовой выборках. Данную модель можно считать приемлемой, так как она по точности многократно превосходит случайное предсказывание (20 %) и близка к рекордному результату (76 %) на тестовой выборке.

Заключение

В работе рассмотрены прикладные аспекты применения ГИИС к решению задач классификации текста на естественном языке. Описаны теоретико-множественный и матричный варианты метаграфового представления ГИИС. На этом основании показана возможность применения функций для преобразования данных как последовательно, так и параллельно. Также были рассмотрены и формализованы все возможные варианты такого применения в рамках данной модели.

Полученные результаты использованы для моделирования ГИИС и решения с ее помощью реальной задачи по определению эмоциональной окраски высказывания. Стоит отметить, что данная модель не сильно отличается от классических ИИС — введением возможности многократной параллельной и последовательной обработки данных, но дает существенные результаты без привлечения таких вычислительно сложных инструментов наподобие нейронных сетей глубинного обучения. Эти результаты обосновывают мотивацию дальнейшего исследования метаграфового представления и моделирования более сложных видов ГИИС для решения практических задач.

Список литературы

1. Survey of Text Mining I: Clustering, Classification, and Retrieval / ed. by M. W. Berry. Springer, 2003.

2. *Chomsky N.* Syntactic Structures. Berlin ; N. Y. : Mouton de Gruyter, 2002.

3. *Jones K. S.* A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of Documentation. 1972. Vol. 28(1). P. 11—21.

4. *Карпович С. Н.* Многозначная классификация текстовых документов с использованием вероятностного тематического моделирования ml-PLSI // Тр. СПИИРАН. 2016. Вып. 47. С. 92—104.

5. *Блюмин С. Л., Приньков А. С.* Графоструктурные тенденции развития ИИС: применение гиперграфов, метаграфов, итерграфов и их матричных представлений // Проблемы фундаментальной и прикладной информатики в управлении, автоматизации и мехатронике. Курск : Университетская книга, 2017. С. 5—13.

6. *Socher R., Perelygin A., Wu J. Y. et al.* Recursive Deep Models for Semantic Compositionality Over a Sentiment Treebank // Conference on Empirical Methods in. Natural Language Processing. Seatle, 2013. P. 18—21.

7. *Basu A., Blanning R.* Metagraphs and Their Applications. N. Y. : Springer, 2007.

8. *Емеличев В. А., Мельников О. И., Сарванов В. И. и др.* Лекции по теории графов. М. : Наука, 1990.

9. *Приньков А. С.* Графоструктурное ремоделирование метаграфами сложных систем на примере московского метрополитена // HTCS'2017 : мат-лы XII междунар. науч.-практ. конф., 25—27 октября 2017 г. : в 2 ч. Изд-во ЛГТУ, 2017. Ч. 1. С. 125—129.

10. *Блюмин С.Л.* Графоструктурное моделирование. Метаграфы и их матрицы // Вестник ЛГТУ. 2015. № 1(23). С. 7—13.

11. *Блюмин С.Л.* Оргипергиперграфы: матрицы инцидентности и лапласианы // Вестник ЛГТУ. 2013. № 1(21). С. 15—27.

12. *Блюмин С.Л.* Итергиперграфы: расширенный класс графовых моделей больших систем // Труды конференции «Теория активных систем-2011» (ТАС) в рамках Международной научно-практической мультиконференции «Управление большими системами» (УБС-2011). М. : ИПУ РАН, 2011. Т. 1. С. 11—15.

13. *Черненький В.М., Терехов В.И., Гапанюк Ю.Е.* Структура гибридной интеллектуальной информационной системы на основе метаграфов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. М. : Радиотехника, 2016. С. 3—13.

14. *Черненький В.М., Терехов В.И., Гапанюк Ю.Е.* Представление сложных сетей на основе метаграфов // Нейроинформатика-2016. XVIII Всероссийская научно-техническая конференция : сб. науч. тр. М. : НИЯУ МИФИ, 2016. Ч. 1. С. 173—178.

15. *Черненький В.М., Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И. и др.* Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем // Прикладная информатика. 2017. Т. 12, № 3(69). С 57—79.

16. *Jurafsky D., Martin J.H.* Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing // Computational Linguistics, and Speech Recognition. Pearson Prentice Hall, 2009.

Г.П. Виноградов, Н.В. Кирсанова, А.В. Колегов
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия
e-mail: wgp272ng@mail.ru

ПРИНЯТИЕ ИНТУИТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В контексте постнеклассической рациональности управление эволюцией интеллектуальных организаций в социально-экономических системах должно быть основано на гармоничном сочетании казуального (причинно-следственного) и теологического (определяемого целями, смысловой, прагматической детерминацией) видения будущего и направлений развития. Движущей силой развития становится деятельность, представленная множеством институциональных построений, ориентированных прежде всего на развитие инновационной деятельности [1—6] путем совершенствования видов информационных взаимодействий в функционировании социально-экономических систем, в частности сетевой экономики. Информационные взаимодействия в сетевой экономике предоставляют более широкие возможности развития по сравнению с рыночными и иерархическими. Именно они создают предпосылки и средство формирования в сознании агентов согласованной «информационной модели» среды их жизнеобитания. Институциональные структуры, используя процедуры согласования, могут делать процесс и результат информационных взаимодействий управляемым и согласованным. В этом смысле рыночные и иерархические взаимодействия — частный случай информационных взаимо-

© Виноградов Г.П., Кирсанова Н.В., Колегов А.В., 2018

действий, перенесенных в рамки определенных институциональных структур. Переход к экономике информационных взаимодействий назван переходом «от традиционной экономики к экономике сложности (*complexity economy*)» [7]. Различие между этими двумя выделенными типами экономики показано в таблице.

Отличия экономики информационных взаимодействий от традиционной

Сетевая экономика — экономика сложности (complexity economy)		Традиционная экономика
Динамика	Открытая внешней среде, нелинейное изменение, находится в неравновесном состоянии, изменяющаяся	Статичная, находится в состоянии равновесия, закрытая система
Агенты	Имитация поведения на индивидуальном уровне, использование сложных правил принятия решения (как рациональных, так и иррациональных), самообучающиеся, принимают решения в условиях неполноты информации	Моделирование обобщенного/агрегированного поведения, рациональный подход к принятию решений (максимизация полезности), полнота информации
Сетевые эффекты	Учитываются	Не учитываются
«Возникаемость»	Нет жесткого разделения на микро- и макроэкономику; поведение системы возникает из взаимодействия на микроуровне	Разделение на микроэкономику и макроэкономику

Одной из наиболее перспективных форм информационного взаимодействия при решении задач развития такого типа систем путем поиска, производства нового знания и определения направления его использования становятся саморазвивающиеся инновационные среды, составная часть которых — самоорганизующиеся *саморазвивающиеся сетевые экспертные среды*. Элементарная часть такой среды — эксперт-профессионал, владеющий современными телекоммуникационными технологиями, средствами Интернета. Интеграция в сетевой структуре естественных интеллектов на основе образует *коллективный стратегический субъект* — средство синергии знаний и действий в процессе развития.

Центр исследования в этой связи — человек, его способность генерировать новое знание, делать оценки возможных направлений развития, ценности, полезности нового знания и технологий, рисков, определение механизма их исключения, соотнесения нового знания с целями и задачами развития.

Следовательно, в основу моделирования саморазвивающихся инновационных сред должен быть положен набор взаимодействующих между собой «агентов», из взаимодействия которых рождается обобщенное поведение системы. Задача в данном случае состоит не в поиске оптимального экономического равновесия, а в попытке понять природу в основе сложных социальных

явлений. «Возникающее» поведение (*emergent behavior*) представляет собой результат взаимодействия элементов системы. Соответственно, в рамках данного подхода к моделированию возникает необходимость корректно отобразить механизм поведения и взаимодействия основных элементов системы — креативных «агентов».

Необходимость интенсификации всех видов творческой деятельности предполагает создание технологий, обеспечивающих процесс трансляции нового знания из внешнего информационного поля через механизм *инсайта* [6]. Это означает, что должна быть разработана «*модель работы человеческой психики*», направленная на выявление связи «*между психическими процессами и наблюдаемыми аспектами поведения человека, полностью отвлекаясь от физиологического аспекта*» [8]. Такая модель позволяет найти формы ее материальной реализации, во-первых, и, во-вторых, построить и управлять процессом ее и развития, в том числе и в симбиозе с естественным интеллектом [9]. Модель должна обладать способностью к самообучению с течением времени на основе собственного опыта, а также способностью изменять правила поведения на основе полученного опыта.

В человеке изначально заложены значительные рефлекторные возможности познания окружающего мира в виде базовых мотиваций: голода, комфорта и самосохранения. На этой основе формируется способность познания окружения и самого себя, создания способов преобразования своего окружения с целью повышения субъективно понимаемой его *гармонии* (красоты, целесообразности и т. п.). Реализация этой способности происходит с помощью первичной интонационной, а затем речевой и письменной знаковых систем. Человек формирует в себе с помощью процессов воспитания, обучения и самообучения онтологии понятий, набор конструкций из них, которые он использует как способ построения моделей окружения и метамоделей для оценки степени конструктивности своих размышлений, а также для реализации коммуникативного взаимодействия. Модели мира, связанные с образами, действиями и чувствами человека, — основа создания новых способов действия и предварительной оценки их полезности и эффективности при стремлении человека к *Гармонии*, которую он воспринимает как *Красоту*. Это стремление к совершенной гармонии (красоте), данное Человеку в инстинктах, приводит к добавлению в онтологии новых понятий и построения новых высказываний, расширяя тем самым возможности создания все более совершенных моделей и метамоделей. В этом процессе основную роль играют четыре свойства мышления: 1) познание причинно-следственных связей через соответствующие понятия и их отношения (модели); 2) конструктивизм в умозаключениях и принятии решений; 3) формально-логическое пояснение (вывод) в суждениях; 4) способность быстро аккумулировать знания и генерировать идеи (гипотезы). Их гармоничное сочетание позволяет вывести в формально-логических суждениях новые положения (модели) и решать задачу интеграции знания (гипотезы, теории).

Необходима разработка структуры модели представлений субъекта при различных проявлениях этих свойств и подход к идентификации этих моделей путем анализа различных форм проявления паттернов мышления.

Конкретные творческие (интеллектуальные) достижения человека в значительной степени зависят от его волевых и эмоциональных усилий, вложенных в процесс познания и творчества. Ведущая способность в этом — видение и восприятие гармонии, которое следует связать с понятием меры, в том числе и полезности моделей-представлений. Такие меры определяются только субъективно и часто — результат согласования. Поскольку мера гармонии — субъективная мера и если ее рассматривать как критерий, а человека как рациональную машину выбора, то такое свойство и определяет разнообразие форм поведения, так как каждый человек решает *свою* задачу выбора, индивидуально осознанно или неосознанно определяя *свой* критерий выбора.

В работах [3; 8] рассмотрен подход к построению модели выбора субъектом на основе принципа субъективной рациональности, позволяющий объяснить так называемые «иррациональные формы поведения». Подход основан на определении понятии гармонии как динамичное согласие *сознательного* Я (Эго) и *подсознательного* (супер-Эго), что позволяет человеку при решении проблем на основе творчества и активного конструктивизма видеть гармонию в логичности умозаключений [10]. На этой основе интеллект создает более совершенные модели и метамодели, которые не только отражают действительность, но выступают основой ее конструирования и преобразования. В этом смысле интеллект становится активной преобразующей силой процесса эволюции своего окружения, управление которой позволяет решить задачу управления эволюцией искусственных систем в гармоничном симбиозе с естественными системами. Цели управляемой эволюции в этом контексте становятся связанными с этической системой как отдельного человека, так и сообщества. Душевные установки (мораль) и эмоции оказывают значительное влияние на направление мышления и соответственно результаты. Поэтому цель перспективных исследований — разработка концепции и архитектуры эмоционально- и морально-ориентированных систем поддержки принятия *интуитивных решений*, способных моделировать определенную часть продуктивного творческого мышления, использующих развивающиеся, адаптирующиеся к новым ситуациям эмоционально- и этически-ориентированные базы знаний и данных — как естественные, так и искусственные. В докладе рассматривается подход к решению этой задачи на основе расширений парадигмы мультиагентных систем.

Следует выделить три стадии построения подобной модели: определение границ модели: какое явление/событие моделируется, каковы его рамки; определение поведения/взаимодействия агентов: разработка модели поведения/принятия решений агентом и его взаимодействия с остальными агентами; разработка и апробация модели, проведение анализа чувствительности.

Практически неограниченные возможности по программированию агентов дают возможность исследователю создавать при необходимости очень

сложные модели, в которых можно отразить процесс принятия решений. Агентное моделирование, использующее подход субъективно рационального выбора [3; 5], позволяет также моделировать иррациональные моменты принятия решений, на которых акцентирует внимание поведенческая экономика (*behavioral economics*). В связи с этим имитационное моделирование становится мощным инструментом поддержки принятия решений для руководителя. Например, перед проведением рекламной кампании необходимо на этапе разработки формы и средств ее проведения оценить потенциальный эффект ее воздействия на целевую аудиторию и приблизительно выявить потенциальную отдачу от вложенных средств и соответственно целесообразность данных затрат. Это требует создания инновационной среды, в состав которой входят не только производители, компании по разработке и реализации рекламных услуг, но и продвинутые пользователи-потребители рекламируемого вида продукта. Ее модель должна иметь также возможность включать в имитационное моделирование, анализ сети контактов клиентов (*network analysis*), чтобы точнее оценить динамику взаимодействия и реакции клиентов на новый продукт или услугу.

Разработка моделей инновационных сред требует грамотной формулировки проблемы и, исходя из этого, постановки задачи, высокого качества экспертизы и опыта. Для этого модель необходимо разрабатывать, опираясь на накопленные в компании базы данных о поведении клиентов, их ценовых предпочтениях, мотивах выбора и т. п. На практике зачастую многие компании имеют очень условное представление об особенностях потребительских предпочтений и мотивации выбора клиентов. Так, например, в рамках переговоров по разработке имитационной игры для обучения персонала с одним из лидеров на рынке по продаже сотовых телефонов выяснилось, что у компании недостаточно данных для разработки имитационной модели [11]. На вопрос — каким образом потребитель выбирает компанию для покупки сотового телефона — сотрудники менеджмента среднего звена затруднились дать ответ. Между тем знание мотивов выбора потребителя — ключевое для успешной работы на рынке. Например, в качестве мотивирующих факторов, определяющих выбор, можно рассматривать цену сотового телефона, репутацию компании как надежного продавца, наличие близко расположенного к дому магазина или же просто консерватизм покупателя, уже совершавшего там хотя бы одну покупку, и т. д. Каждый из этих вариантов требует своей стратегии реагирования. Возможность непрерывного получения такой информации возможно только в рамках самоорганизующихся инновационных сред, что и позволяет разработать реалистичную агентную модель поведения покупателей на рынке, которая позволит тестировать эффективность той или иной стратегии развития компании.

Одно из интересных приложений агентного моделирования — имитационные симуляторы бизнеса — так называемые микромиры (*microworlds*), в основе которых лежат имитационные модели, с их помощью руководители среднего и высшего звена могут тестировать различные стратегии управления компанией.

Список литературы

1. *Райков А.Н.* Конвергентное управление и поддержка решений. М. : ИКАР, 2009.
2. *Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н.* Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 3. С. 58—72.
3. *Vinogradov G.* Decision Making based of Subjective Conceptions of Decision situation // Interactive Systems and Technologies: the Problems of Human-Computer Interaction. Collection of Scientific papers. Uljanovsk, 2011. P. 403—414.
4. *Новиков Д.А.* Математические модели формирования и функционирования команд. М. : Физматлит, 2008.
5. *Виноградов Г.П.* Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. Тверь : ТГТУ, 2013.
6. *Лепский В.Е.* Рефлексивно-активные среды инновационного развития. М. : Когито-Центр, 2010.
7. *Beinhocker E.D.* The Origin of Wealth: Evolution, Complexity and the Radical Remarking of Economics. Boston : Random House Business Book, 2007.
8. *Лефевр В.А.* Контуры человека. М. : Прогресс, 1991.
9. *Рубинштейн С.Л.* Основы общей психологии. СПб. : Питер, 2000.
10. *Челпанов Г.И.* Учебник логики. М. : ОГИЗ, 1946.
11. *Charles M., North M.* Tutorial on agent-based modeling and simulation // Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Orlando, Florida : IEEE, 2005. P. 2—15.

А.И. Долгий[1], А.Е. Колоденкова[2], С.М. Ковалев[3]
[1,3]Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
e-mail: [1]adolgy@list.ru, [2]anna82_42@mail.ru, [3]ksm@rfniias.ru

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ СЛИЯНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Введение

За последнее десятилетие успешное развитие в России и за рубежом получили современные средства автоматизации, приводящие к появлению гибридных интеллектуальных систем, особенности которых — широкие функциональные возможности; высокая сложность программных средств, входящих в состав систем; высокая производительность [1]. Гибридные интеллектуальные системы должны обладать различными средствами сбора, измерения, первичной обработки (слияния) разнородных данных, полученных в ходе контроля, управления за технологическим процессом (ТП) и наблюдений за работой технических устройств, с целью диагностики неисправностей сложных технических систем и принятия научно обоснованных управленческих решений для уменьшения негативных последствий путем прогнозирования их возникновения на начальной стадии развития ТП либо исключая их вовсе.

© Долгий А.И., Колоденкова А.Е., Ковалев С.М., 2018

Разнородные данные отличаются высокой динамичностью, обусловленной динамикой ТП; неточностью, вызванной влиянием шумовых процессов, помех в измерительной аппаратуре, несовершенством приборов; нечеткостью целей измерения, а также субъективностью, предопределенной отсутствием каких-либо других способов получения данных. Поэтому основная задача гибридных интеллектуальных систем — слияние разнородных данных, характеризуемых описанными выше атрибутами неопределенности измерений и требующих интеграции различных современных подходов и методов [2].

В работе обсуждаются проблемы слияния разнородных данных, поступающих от разных датчиков измерения параметров ТП, а также пути их решения. Рассматриваются известные методы слияния данных в условиях неопределенности.

1. Проблемы слияния разнородных данных

Обработку разнородных данных (в англоязычной литературе употребляют термин *слияние данных* (*data fusion*)) часто понимают как соединение, комплексирование, интеграцию, объединение, сращивание или сплавление.

Настоящая работа посвящена слиянию данных, под которым понимается совместная обработка разнородных данных, полученных в реальном времени от различных датчиков, в данные, легко воспринимаемые человеком, на основе которых можно контролировать ТП, оценивать ситуацию и принимать научно обоснованные управленческие решения.

Заметим, что *слияние* — это не статический процесс, а итеративный динамический процесс, который стремится постоянно уточнять оценки о наблюдаемых ситуациях, возникающих при ТП или об угрозах окружающей среды.

Достоинства технологии слияния данных — повышение качества данных; сохранение надежности системы в случае отказа какого-либо датчика; рост вероятности обнаружения нештатных ситуаций; уменьшение времени реагирования экспертов и увеличение скорости принятия решений при управлении ТП в силу получения более полных и точных данных о ТП, поступающих от множества разнородных датчиков. Несмотря на многочисленные применения технологии слияния разнородных данных в различных сферах критической инфраструктуры, она остается достаточно сложной задачей и имеет ряд основных проблем [3; 4]:

1. *Распределенность и разнородность* (гетерогенность — *heterogeneity*) данных. Данные от датчиков могут быть представлены в виде разнородных данных и характеризоваться: разнообразием шкал измерения (номинальной, числовой и др.); различными типами данных (целый, вещественный, логический и др.); разной структурой представления (статистические, темпоральные, нечеткие, географические, экспертные данные, изображения и др.); разными типами моделей баз данных (реляционные, иерархические, сетевые и др.); различной степенью достоверности, полноты и точности данных, измеряемых в разных масштабах и единицах измерения.

2. *Точные датчики.* Никакое слияние данных не сможет заменить один точный датчик. Достаточно часто применяются многопараметрические датчики, способные измерять одновременно несколько физических величин, характеризующих контролируемый объект или процесс. Объединяя данные от нескольких измеряемых величин или от нескольких одинаковых датчиков, можно улучшить их качество, а также повысить точность и достоверность.

3. *Выбор метода слияния данных*. Проблема возникает из-за того, что не существует универсального метода слияния данных, оптимального при всех условиях.

4. *Терминология*. Проблема появляется из-за того, что спецификации данных выполняются различными экспертами, которые могут использовать одинаковые термины в различном смысле и, наоборот, для одного и того же понятия могут использовать различные названия. Для решения этой проблемы целесообразно применять единый словарь терминов предметной области.

5. *Идентификация сущностей* (*entity identification problem*). Проблема возникает из-за того, что информация об одной и той же сущности (ситуации, состоянии объекта, процессе и т. п.) представляется в распределенной форме. Для решения этой проблемы целесообразно установить однозначное соответствие между описаниями, которые находятся в различных локальных датчиках, но относятся к одному экземпляру сущности предметной области.

2. Методы слияния данных

В настоящее время существует достаточно методов для слияния данных. Однако при выборе метода следует учитывать различные аспекты: какой из разработанных методов слияния лучше подходит к имеющимся данным; какая предварительная обработка необходима; как выбрать из набора данных те, слияние которых даст наилучший эффект и т. п.

В работе в качестве примера кратко представлены несколько методов слияния данных: Байесовский подход (*Bayesian approach*), теория доказательств Демпстера — Шефера (*Dempster — Shafer theory*) и теория нечетких множеств (*Theory of fuzzy sets*), гибридные подходы (*Hybrid approaches*).

1. *Байесовский подход* позволяет осуществить слияние данных с использованием теоремы Байеса и теории вероятностей.

В работе [5] рассматривается Байесовский вывод, позволяющий осуществлять слияние статистических данных, основанный на теореме Байеса для условной или апостериорной вероятности для оценки n-мерного вектора состояния X после проведения измерений Z. Учитывая представление пространства состояний, оценка Байеса предоставляет метод для вычисления условной вероятности гипотетического состояния x_k во время k с учетом набора измерений $Z^k = \{z_1; \ldots; z_k\}$ и предварительной функции распределения:

$$P(x_k / Z^k) = \frac{P(z_k / x_k) P(x_k / Z^{k-1})}{P(Z^k / Z^{k-1})},$$

где $P(z_k / x_k)$ — функция правдоподобия на основе модели измерения датчика; $P(x_k / Z^{k-1})$ — предварительная функция распределения, включающая в себя мо-

дель перехода системы; $P(Z^k / Z^{k-1})$ — нормализация. Вероятностная информация, содержащаяся в Z о состоянии X, описывается функцией плотности вероятности $P(Z / X)$, зависит от датчика и получена на основе наблюдений.

В работе [6] Байесовский вывод описан следующим образом: объединяются характеристики решений (I_1, I_2, ..., I_n), полученных из n различных условий. Предполагается, что эти условия статистически независимы, совместная вероятность гипотезы H на основе объединенных характеристик решений может быть вычислена как:

$$p(H / I_1, I_2, ..., I_n) = \frac{1}{N} \prod_{k=1}^{n} p(I_k / H)^{w_k} ,$$

где N используется для нормализации оценки апостериорной вероятности $p(H/I_1, I_2, ..., I_n)$; w_j — вес k-го условия, $j = 1, \ldots, k$, $w_j = 1$. Апостериорная вероятность вычисляется для всех возможных гипотез, E. Гипотеза, имеющая максимальную вероятность, определяется с помощью правила $\widehat{H} = \arg\max_{H \in E} p(H / I_1, I_2, ..., I_n)$.

Одно из ключевых преимуществ Байесовского подхода — использование любой априорной информации относительно параметров модели, которая выражается в виде априорной вероятности или функции плотности вероятности. Далее априорные вероятности «пересматриваются» с помощью выборочных данных, которые находят свое отображение в виде апостериорного распределения оценок параметров или переменных модели.

Несмотря на обширное количество работ, посвященных Байесовскому подходу, он имеет недостатки: требует знания априорных и условных вероятностей, которые очень редко известны; гипотезы должны быть взаимоисключающими; трудности в описании неопределенности решений.

2. *Теория доказательств Демстера — Шефера* (Д—Ш). Данная теория — математическая теория очевидностей (свидетельств), основанная на мере доверия и правдоподобия, обеспечивающая формализм, который может быть использован для представления неполных знаний, обновления убеждений и сочетания доказательств и позволяет нам ясно представлять неопределенность.

В работе [7] рассматривается теория Демпстера — Шефера при слиянии информации в составе комплексной системы диагностирования авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). В качестве параметров формирования функций масс предлагается использовать значения коэффициентов асимметрии:

$$m = A_{ср} / A_{max},$$

где $A_{ср}$, A_{max} — среднее и максимальное значение коэффициента асимметрии рассматриваемого параметра состояния ГТД за четыре последних измерения. В работе отмечено, что такой порядок назначения значения функции масс оправдан с физическим смыслом нормального закона распределения соответствующего функционального параметра ГТД.

В работе [8] применяется теория Д—Ш при слиянии информации для диагностики неисправностей турбины на электростанции. Предлагается сначала рассчитать надежность различных датчиков по функции правдоподобия, а затем использовать правила слияния для сигналов, поступающих от каждого датчика. Для получения результатов диагностики неисправностей рассматривается алгоритм слияния данных, состоящий из следующих этапов: 1) получить базовые вероятности к каждому источнику сигнала $m_j(H) = \bigoplus_{n=1}^{N} m_{n,j}(H)$ где H — свидетельства, заданные источником сигнала S_j (j = 1, …, Q), Q — количество источников сигнала, $\Theta = \{H_n\}$; 2) получить окончательный результат базовой вероятности на основе объединения различных базовых вероятностей источников сигнала $m(H) = \bigoplus_{j=1}^{J} m_j(H)$; 3) распознать неисправности через критерий вероятности BetP: $BetP(H_n) = \sum_{N \subseteq \Omega} \frac{|H_n \cap H|}{|H|} m(H)$. Результаты показали, что применение предложенного алгоритма слияния данных, полученных от нескольких датчиков, уменьшает неопределенность и увеличивает способность распознавать неисправности.

В качестве недостатков теории Д—Ш следует отметить, во-первых, что при наличии больших множеств гипотез и сложных множеств допущений вычисления по формуле Демпстера могут потребовать значительных затрат, хотя они меньше, чем в случае использования Байесовских вероятностей. Во-вторых, одна из сложностей, связанных с использованием данной теории, возникает в связи с необходимостью применения нормализации, т. е. величины конфликта свидетельства.

3. *Нечеткая логика* (*Fuzzy logic*) — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории нечетких множеств (*Theory of fuzzy sets*), впервые изложенной Л. Заде (*L. Zadeh*) в 1965 г. В основе применения математического аппарата нечетких множеств лежит функция принадлежности. Данный аппарат позволяет приближенным и нечетким утверждениям дать строгое математическое описание.

В работе [9] рассматривается технология слияния данных, полученных от различных датчиков с использованием теории нечетких множеств, применяющейся при мониторинге состояния окружающей среды. Основное достоинство указанной теории — большая гибкость в представлении исходной информации и интерпретировании конечного результата.

4. *Гибридные методы* (*Hybrid methods*). Сочетают в себе различные методы слияния в рамках единой формулировки. Ожидается, что будет обеспечен комплексный подход к проблеме неопределенности данных. Ключевым моментом при разработке алгоритмов гибридного слияния становится то, что различные методы слияния не должны конфликтовать между собой, поскольку они подходят к слиянию данных с разных точек зрения.

В работе [10] предлагается новый алгоритм слияния данных, основанный на нечеткой логике и теории доказательств Д—Ш, в котором введено модифицированное правило комбинации теории Д—Ш, позволяющее решить проблему доказательств с конфликтностью. Для проверки алгоритма приведен пример системы идентификации цели.

Заключение

Таким образом, слияние разнородных данных в условиях неопределенности — крайне важная и трудная задача, требующая особого внимания в гибридных интеллектуальных системах. Несмотря на большое количество методов слияния данных, применение гибридных методов слияния данных, учитывающих всевозможные данные о ТП, наиболее эффективно. В связи с этим дальнейшие исследования авторов будут направлены на комбинирование различных подходов и методов слияния разнородных данных для диагностики неисправностей сложных технических систем с целью получения более полных и точных данных о ТП и принятия научно обоснованных управленческих решений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-07-00032-а, 16-07-00086-а, 17-08-00402-а.

Список литературы

1. *Ковалев С.М., Шабельников А.Н.* Иерархический интеллектуальный препроцессинг нечетко-стохастической информации в интегрированных системах динамического типа // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 3. С. 148—157.

2. *Колоденкова А.Е., Халикова Е.А., Коробкин В.В.* Метод оценки стоимости и времени проектирования информационно-управляющих систем на транспорте с применением генетического алгоритма в условиях нечетких исходных данных // Вестник РГУПС. 2017. № 3. С. 83—90.

3. *Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В.* Многоагентная технология принятия решений в задачах объединения данных // Труды СПИИРАН. 2002. Вып. 1, т. 2. С. 12—37.

4. *Bahador Khaleghi, Alaa Khamis, Fakhreddine O. Karray, Saiedeh N.R.* Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art // Information Fusion. 2013. Vol. 14, № 1. P. 28—44.

5. *Waleed A. Abdulhafiz, Alaa Khamis* Handling Data Uncertainty and Inconsistency Using Multisensor Data Fusion // Advances in Artificial Intelligence. 2013. Vol. 2013, № 1. P. 1—11.

6. *Pitsikalis V., Katsamanis A., Papandreou G. et al.* Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation // Ninth International Conference on Spoken Language Processing. Pittsburgh, 2006. P. 2458—2461.

7. *Абдуллаев П.Ш., Мирзоев А. Дж.* Особенности применения теории Демпстера — Шефера при синтезе информации о техническом состоянии ГТД // Авиационно-космическая техника и технология. 2014. № 9 (116). С. 128—132.

8. *Fei X., Hao Z., Longhu X.* D-S Evidence Theory in the Application of Turbine Fault Diagnosis // International Conference on Machine Learning and Computing. 2011. Vol. 13. P. 178—182.

9. *Fan D., Wang S.* Application of Fuzzy Data Fusion in Storage Environment Security Monitoring // American Journal of Applied Mathematics. 2016. Vol. 4, № 5. P. 197—203.

10. *Ding H., Ji H., Huang Z., Li H.* Data Fusion Algorithm Based on Fuzzy Logic // Proceedings of the 5 World Congress on Intelligent Control and Automation. 2004. P. 3101—3103.

М.Л. Долженкова[1], Г.А. Чистяков[2]
Вятский государственный университет, Киров, Россия
e-mail: [1]maryid@mail.ru, [2]gennadiychistyakov@gmail.com

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Введение

Математический аппарат теории логического вывода (ЛВ) представляет собой мощный и перспективный инструмент для решения ряда практических задач. Наиболее значимые преимущества такого аппарата — высокая степень параллелизма процесса вывода и возможность гибкого применения различных эвристических механизмов выбранной предметной области. В целом эффективное использование вычислительных ресурсов в совокупности с грамотно подобранным набором отсечений позволяют, несмотря на экспоненциальную сложность большинства методов ЛВ, добиваться значительного сокращения временных затрат при решении классов «поисковых» NP-полных задач [1].

Принцип работы подавляющего большинства методов схож: процедура вывода строит древовидную структуру, ветви которой поочередно удлиняются за счет применения базовой операции [2]. Один из отмечаемых недостатков существующих методов ЛВ и построенных на их основе машин (МЛВ) — узкая специализация. Нередко метод, разработанный для эффективного решения одной конкретной задачи, не пригоден для решения задач даже с незначительно модифицированной формальной постановкой. Иногда применение метода возможно только при условии, что исходные данные удовлетворяют определенному набору ограничений [3]. Таким образом, в современных условиях, характеризующихся наличием в массовом доступе высокопроизводительных ЭВМ, позволяющих выполнять построение дерева с приемлемыми временными затратами, первоочередной проблемой становится недостаточная универсальность МЛВ, которая в значительной степени сдерживает распространение рассматриваемого аппарата.

Один из возможных путей решения отмечаемой проблемы — создание универсальных МЛВ, поддерживающих процесс вывода с помощью ряда ме-

© Долженкова М.Л., Чистяков Г.А., 2018

тодов одного семейства (применяющих одну и ту же базовую операцию) или же нескольких методов из разных семейств (использующих различные базовые операции).

1. Процесс проектирования машины логического вывода

Процесс проектирования и разработки типовой МЛВ может быть рассмотрен как последовательность этапов [4].

1. Выбор существующего или разработка нового метода логического вывода, который будет реализовывать машина.

2. Преобразование метода в модель логических вычислений — специализированную формальную структуру, представляющую собой совокупность множества вершин, соответствующих процедурам метода, и множества связей между ними.

3. Проектирование на основе созданной модели архитектуры машины, наиболее эффективно осуществляющей процесс вывода посредством поддержки ряда эвристик и оптимизаций.

4. Непосредственно реализация архитектуры в программной, программно-аппаратной или полностью аппаратной форме. Полученная МЛВ в дальнейшем используется для решения задач, имеющих согласующуюся с выбранным методом ЛВ формальную постановку.

Наиболее важный при этом — этап построения модели логических вычислений, так как именно она в дальнейшем определит архитектурно-структурные особенности МЛВ. Рассмотрим данную структуру с формальной точки зрения.

2. Формальное описание модели логико-потоковых вычислений

Так как процесс логического вывода наиболее наглядно описывается в древовидной форме, где связи между шагами существуют только на вертикальном уровне, модель логических вычислений можно представить в виде множества динамически создаваемых абстрактных объектов, соответствующих подзадачам и связанных между собой посредством сообщений [5]. При этом в произвольный момент времени каждый из них может находиться в одном из двух состояний: активном или пассивном, — что позволяет говорить об акторном типе модели.

Акторы представляют собой автономные, распределенные, параллельно работающие примитивы, посылающие друг другу сообщения асинхронно. По сути, каждый актор сопоставляется независимой подзадаче, а его тип определяет содержательную часть вычислительного процесса. Кроме того, актор параметризуется внутренним состоянием, что обеспечивает вариативность поведения.

Формально абстрактный актор задается четверкой $A = <T, I, O, B>$, где T — тип примитива; I — набор входных сообщений, принимаемых актором; O — набор выходных сообщений, являющихся результатом работы актора; B — поведение, определяющее реакцию на поступившее сообщение.

В ходе обработки полученного сообщения могут быть созданы новые, дочерние, акторы, сгенерированы и отправлены сообщения, а также изменено внутреннее состояние.

Поведение B описывается тройкой $<F, U, P>$, где $F = \{F_i\}$ $(i = 1, n)$ — множество цепочек операций, реализуемых как вложенные акторы, $U = \{U_j\}$ $(j = 1, m)$ — множество единичных операций (одиночных действий), $P = \{P_k\}$ $(k = 1, l)$ — множество элементарных переключателей, определяющих изменение поведения актора в зависимости от полученных сообщений и внутреннего состояния. При этом элементы множеств F, U и P имеют вид $<W, D>$, где W — множество указателей (возможно, пустое) на предшествующие элементы, позволяющее ввести частичное отношение порядка между объектами поведения B, а D — содержательная составляющая операции.

Таким образом, акторная модель логических вычислений M для заданного метода ЛВ может рассматриваться как совокупность акторов $M = \{A_i\}$ $(i = 1, n)$. Модель обладает следующими свойствами: параллелизм (определяется степенью параллелизма используемого метода); независимость (работа примитива, получившего очередное сообщение, происходит независимо от состояний прочих примитивов); недетерминированность (управление ходом вычислений осуществляется путем передачи сообщений, порядок возникновения акторов во времени предсказать невозможно); явная зависимость по данным (связи между операциями обнаруживается легко).

Анализ модели показывает, что время работы акторов напрямую зависит от входных данных, а готовность процессов к выполнению определяется исключительно готовностью входных данных, факт появления которых эквивалентен передаче сообщения о создании примитива. При этом необходимость в использовании дополнительных синхронизирующих сигналов отсутствует. В связи с этим можно говорить об акторной модели как о модели логико-потоковых вычислений (data-flow управление).

3. Формирование композиции моделей

Из вышеизложенного становится очевидным, что задача разработки универсальной МЛВ сводится к задаче построения более сложной модели логических вычислений, поддерживающей вывод несколькими методами. При этом в общем случае данные методы могут иметь в своей основе различные базовые операции (например, операции резольвирования [6] и деления дизъюнктов [7]). Наиболее простым способом формирования подобной модели становится композиция существующих моделей вычислений, соответствующих выбранным методам, которая может быть выполнена следующим образом.

Пусть имеется множество моделей логических вычислений $L = \{M_1, M_2, \ldots, M_N\}$ и требуется сформировать композиционную модель K, представляющую собой объединение моделей множества L.

Определим множество акторных примитивов A как совокупность всех элементов, входящих в модели множества L: $A = \cup M_i = \{A_j\}$ $(i = 1, N; j = 1, V)$.

При этом для обеспечения уникальности потребуется произвести перенумерацию как самих акторных примитивов, так и образующих поведения B элементов.

Разделим акторные примитивы множества A, выделив группы элементов со схожим поведением: $G = \{G_1, G_2, \ldots, G_x, \ldots, G_H\}$, где H — число сформированных групп ($H \le V$). Множество G_x может обладать как единичной (в случае отсутствия акторов со схожим поведением), так и большей мощностью.

Введем $R = \{R_k\}$ ($2^k \le N$) дополнительных элементарных переключателей, комбинации которых позволят идентифицировать модели исходного множества L [8].

Запишем алгоритм выполнения каждого акторного примитива A_i ($i = 1, V$) в виде системы схемных формул перехода S3 [9]. Для этого произведем топологическую сортировку элементов поведения B соответствующего актора, упорядочив их в последовательность Q. Начнем построение формулы перехода A_i, выписывая цепочки операций, единичные операции и элементарные преобразователи из Q и используя для ветвлений стрелки переходов $\uparrow$ и $\downarrow$. При этом для каждой встреченной цепочки операций выписывание следующих за ней и зависимых от нее элементов следует продолжать в новой формуле $A`_i$, $A``_i$ и так далее. Кроме того, при описании формул перехода данной цепочки необходимо предусмотреть возврат к выполнению введенной формулы (за исключением случая, когда элемент является последним в Q).

Используя принципы объединения логических схем алгоритмов, введенные дополнительные элементарные переключатели R, для каждой группы G_x из G построим объединение S_x полученных схемных формул перехода. Оптимизируем выражения S_x путем применения полной системы преобразований схемных формул перехода (системы Лазарева-Дъяченко) [9]. Сформируем на основе набора оптимизированных выражений S_x метаакторные примитивы $C_x = <T_x, I_x, O_x, B_x>$, где T_x — тип примитива, получаемый как объединение типов примитивов A_i ($i = 1, V$; $A_i \in G_x$), $I_x = \cup I_i$ ($i = 1, V$; $A_i \in G_x$) — объединенный набор входных сообщений акторов группы G_x, $O_x = \cup O_i$ ($i = 1, V$; $A_i \in G_x$) — объединенный набор выходных сообщений акторов группы G_x, B_x — поведение примитива, задаваемое выражениями S_x и формализуемое посредством алгоритмов [10].

Сформируем композиционную модель K как объединение метаакторных примитивов C_x, соответствующих группам G_x, – $K = \{C_1, C_2, \ldots, C_H\}$.

Поясним действия по алгоритмизации выполнения акторного примитива. Проиллюстрируем процесс получения схемных формул небольшим абстрактным примером. Пусть имеется актор A, поведение B которого описывается множествами $F = \{<\{P_1\}, F_1>, <\{F_1\}, F_2>, <\{U_3\}, F_3>, <\{U_4\}, F_4>\}$, $U = \{<\varnothing, U_1>, <\{U_1\}, U_2>, <\{P_1\}, U_3>, <\{F_2, F_3\}, U_4>\}$, $P = \{<\{U_2\}, P_1>\}$ (рис.).

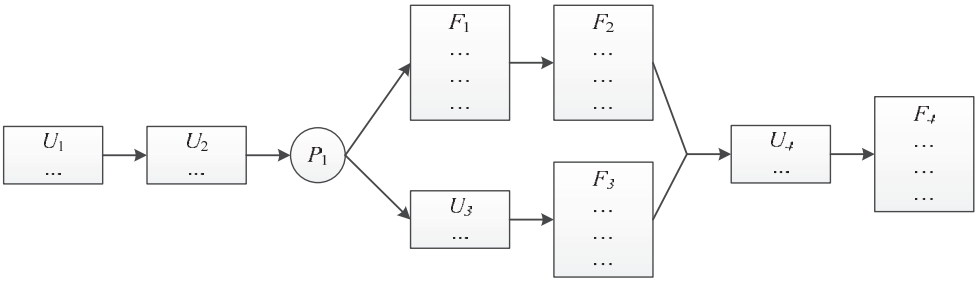


Рис. Схематичное представление поведения *B*

Последовательность *Q* может иметь вид $U_1U_2P_1F_1F_2U_3F_3U_4F_4$. Формирование формулы перехода *A* завершится на анализе элементов F_1 и F_3: $A \to U_1U_3P_1\uparrow^1F_1{*}\downarrow^1U_3F_3$. В ходе анализа элемента F_1 порождается новая формула $A`$: $A` \to F_2$, элемента F_3 – $A``$: $A`` \to U_4F_4$. Кроме того, для элемента F_2 будет получена еще одна формула перехода $A```$: $A``` \to U_4F_4$, которая, однако, будет исключена в ходе оптимизации.

Кроме того, описания формул перехода для цепочек операций F_1, F_2 и F_3 будут иметь вид $F_1 \to B_{F1}A`$, $F_2 \to B_{F2}A``$ и $F_3 \to B_{F3}A``$, где B_{F1}, B_{F2} и B_{F3} — схемные формулы переходов акторов, соответствующих F_1, F_2 и F_3.

Остается добавить, что ручное применение рассмотренного метода для реальных моделей логико-потоковых вычислений практически невозможно вследствие трудоемкости действий и большого объема промежуточных вычислений. В связи с этим рекомендуется производить построение композиций программно.

Заключение

Предлагаемый в работе метод построения композиционных моделей логических вычислений позволяет получать структуры, на основе которых становится возможным проектирование архитектур универсальных МЛВ, среди основных достоинств которых необходимо отметить следующее.

1. Использование в полной мере преимуществ аппарата логического вывода: крайне высокая степень параллелизма, способность управления потоком данных, значительное сокращение временных затрат на осуществление вывода путем применения эвристических механизмов и учета особенностей выбранной предметной области.

2. Расширение сферы приложения математического аппарата теории логического вывода за счет снижения требований к уровню знаний пользователя. Универсальная МЛВ может применяться для решения ряда классов задач, формальные постановки которых имеют существенные отличия. При этом вместо внесения изменений в архитектуру МЛВ от пользователя потребуется лишь ее микропрограммное переконфигурирование.

3. Простота организации гибридных логических вычислений: для решения подзадач, отвечающих определенным критериям, возможно применение вспомогательных методов ЛВ, отличающихся от основного и позволяющих решать данные подзадачи наиболее эффективным образом.

Кроме того, рассмотренный метод нашел свое применение в разрабатываемой в настоящий момент программной платформе, предназначенной для создания виртуальных машины логического вывода на языке программирования Erlang.

Список литературы

1. *Meltsov V.Yu.* High-Perfomance Systems of Deductive Inference. Yelm, 2014.

2. *Russell S.J, Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education, 2009.

3. *Чистяков Г.А.* Метод и машина логического вывода для формальной верификации параллельных алгоритмов : дис. … канд. техн. наук. Киров, 2015.

4. *Закревский А.Д.* Параллельные алгоритмы логического управления. М., 2003.

5. *Долженкова М.Л., Мельцов В.Ю., Чистяков Г.А.* Схема потока логических вычислений для графического представления метода вывода на базе деления дизъюнктов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 140—143.

6. *Вагин В.Н.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М., 2008.

7. *Страбыкин Д.А.* Логическое прогнозирование развития ситуаций в интеллектуальных системах на основе дедуктивного вывода. Киров, 2014.

8. *Ляпунов А.А.* О логических схемах программ // Проблемы кибернетики. 1958. Вып. 1. С. 46—74.

9. *Дьяченко В.Ф., Лазарев В.Г., Савин Г.Г.* Управление на сетях связи. М., 1970.

10. *Матвеев В.Д., Матвеева Л.И.* Теория алгоритмов. Часть вторая : учебное пособие. Киров, 2011.

Ю.Т. Каганов[1], Г.И. Ревунков[2], Ю.Е. Гапанюк[3]
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: [1]kaganov.y.t@bmstu.ru, [2]revunkov@bmstu.ru, [3]gapyu@bmstu.ru

ГИБРИДИЗАЦИЯ МЕТАГРАФОВОГО ПОДХОДА И ПОДХОДА НА ОСНОВЕ СИМВОЛИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящее время для построения интеллектуальных систем используется большое количество подходов: продукционные правила, нейронные сети, нечеткая логика, эволюционные методы и др. При этом можно отметить явную тенденцию к совместному применению разных методов для решения различных классов задач. Это привело к появлению такого направления, как «ги-

© Каганов Ю.Т., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е., 2018

бридные интеллектуальные системы» (ГИС). Основополагающими трудами в области ГИС можно считать работы научной школы профессора А. В. Колесникова [1; 2].

При этом необходимо различать понятия «гибридная интеллектуальная система» и «интегрированная интеллектуальная система». Второе понятие — более широкое. Профессор Г. В. Рыбина отмечает [3], что интегрированная интеллектуальная система — гибридная только в случае полной интеграции ее компонентов.

Таким образом, если программные модули последовательно или параллельно реализуют методы нейронных сетей, нечеткой логики, эволюционные методы, то такая система — интегрированная, но не гибридная. Но когда система использует единую модель знаний, которая позволяет одновременно применять методы нейронных сетей, нечеткой логики, эволюционные и другие методы, то такую систему можно назвать гибридной.

Ключевой вопрос — каким образом реализовать принцип гибридности? Ответ на него предлагается, в частности, в работе профессора Н. Г. Ярушкиной [4]. В ней сформулирован следующий принцип гибридности: «В литературе встречаются схемы гибридизации нейроинформатики и ИИ, построенные по следующему принципу: правое полушарие — нейрокомпьютер; левое полушарие — основанная на знаниях система, а вопрос лишь в их взаимодействии или балансе право- и левополушарности. В реальном поведении человека невозможно разделить восприятие и логическую обработку, поэтому более успешной представляется схема глубинной интеграции».

Необходимо отметить, что «полная интеграция компонентов» по Г. В. Рыбиной и «глубинная интеграция» по Н. Г. Ярушкиной может быть реализована только на основе унифицированного подхода к модели знаний и обработке знаний в интеллектуальной системе. В качестве такого подхода нами предлагается использовать метаграфовый подход. Далее рассмотрим основные положения метаграфового подхода на основе публикаций авторов [5—7].

Метаграф *MG* определяется следующим образом: $MG = \langle V, MV, E, ME \rangle$, где *V* — множество вершин метаграфа; *MV* — множество метавершин метаграфа; *E* — множество ребер метаграфа; *ME* — множество метаребер метаграфа.

Вершина метаграфа характеризуется множеством атрибутов: $v_i = \{atr_k\}, v_i \in V$, где v_i — вершина метаграфа; atr_k — атрибут.

Ребро метаграфа характеризуется множеством атрибутов, исходной и конечной вершиной и признаком направленности: $e_i = \langle v_S, v_E, eo, \{atr_k\} \rangle$, $e_i \in E, eo = true \mid false,$ где e_i — ребро метаграфа; v_S — исходная вершина (метавершина) ребра; v_E — конечная вершина (метавершина) ребра; *eo* — признак направленности ребра (*eo* = *true* — направленное ребро, *eo* = *false* — ненаправленное ребро); atr_k — атрибут.

Фрагмент метаграфа: $MG_i = \{ev_j\}, ev_j \in (V \cup E \cup MV \cup ME)$, где MG_i — фрагмент метаграфа; ev_j — элемент, принадлежащий объединению множеств вершин (метавершин) и ребер (метаребер) метаграфа.

Таким образом, фрагмент метаграфа в общем виде может содержать произвольные вершины (метавершины) и ребра (метаребра) без ограничений. Ограничения вводятся на фрагменты метаграфа, входящие в метавершину и метаребро.

Метавершина метаграфа: $mv_i = \langle \{atr_k\}, \{ev_j\} \rangle$, $mv_i \in MV$, $ev_j \in (V \cup E^{eo=false} \cup MV \cup ME^{eo=false})$, где mv_i — вершина метаграфа; atr_k — атрибут, ev_j — элемент, принадлежащий объединению множеств вершин (метавершин) и ребер (метаребер) метаграфа.

Таким образом, метавершина в дополнение к свойствам вершины включает вложенный фрагмент метаграфа. При этом ребра и метаребра этого фрагмента могут быть только ненаправленными, *eo = false*.

Метаребро метаграфа: $me_i = \langle v_S, v_E, eo, \{atr_k\}, \{ev_j\} \rangle, e_i \in E, eo = true \mid false$, $ev_j \in (V \cup E^{eo=true} \cup MV \cup ME^{eo=true})$, где me_i — метаребро метаграфа; v_S — исходная вершина (метавершина) ребра; v_E — конечная вершина (метавершина) ребра; *eo* — признак направленности метаребра (*eo = true* — направленное метаребро, *eo = false* — ненаправленное метаребро); atr_k — атрибут; ev_j — элемент, принадлежащий объединению множеств вершин (метавершин) и ребер (метаребер) метаграфа.

Таким образом, метаребро в дополнение к свойствам ребра включает вложенный фрагмент метаграфа. При этом ребра и метаребра этого фрагмента могут быть только направленными, *eo = true*.

Определения метавершины и метаребра — рекурсивные, так как элементы ev_j могут быть, в свою очередь, метавершинами и метаребрами. Метавершина — формализм описания данных, а метаребро — формализм описания процессов.

Наличие у метавершин собственных атрибутов и связей с другими вершинами — важная особенность метаграфов. Это соответствует принципу эмерджентности, т.е. приданию понятию нового качества, несводимости понятия к сумме его составных частей. Фактически, как только вводится новое понятие в виде метавершины, оно «получает право» на собственные свойства, связи и т.д., так как в соответствии с принципом эмерджентности новое понятие обладает новым качеством и не может быть сведено к подграфу базовых понятий.

Таким образом, метаграф можно охарактеризовать как разновидность «сети с эмерджентностью», т.е. фрагмент сети, состоящий из вершин и связей, может выступать как отдельное целое.

Для обработки и преобразования метаграфов используется подход на основе агентов.

Определим множество агентов системы: $AG = \{ag_i\}, ag_i \in AG^{TYPE}$, где AG — множество агентов; ag_i — агент; AG^{TYPE} — множество типов агентов, каждый агент принадлежит определенному типу.

В текущей версии метаграфового подхода рассматривается четыре типа агентов: $AG^{TYPE} = \{ag^F, ag^M, ag^C, ag^{MD}\}$, где ag^F — агент-функция; ag^M — метаграфовый агент; ag^C — контейнерный агент; ag^{MD} — динамический метаграфовый агент.

Определим агент-функцию ag^F: $ag^F = \langle MG_{IN}, MG_{OUT}, AST \rangle$, где MG_{IN} — метаграф, который выполняет роль входного параметра агента-функции; MG_{OUT} — метаграф, который выполняет роль выходного параметра агента-функции; AST — абстрактное синтаксическое дерево агента-функции, которое может быть представлено в виде метаграфа.

Определим метаграфовый агент ag^M: $ag^M = \langle MG_D, R, AG^{ST} \rangle, R = \{r_j\}$, где MG_D — метаграф данных и знаний, на основе которого выполняются правила агента; R — набор правил (множество правил r_j); AG^{ST} — стартовое условие выполнения агента (фрагмент метаграфа, который используется для стартовой проверки правил, или стартовое правило).

Структура правила метаграфового агента: $r_i : MG_j \to OP^{MG}$, где r_i — правило агента; MG_j — фрагмент метаграфа, на основе которого выполняется правило; OP^{MG} — множество операций, выполняемых над метаграфом.

Антецедент правила — фрагмент метаграфа, консеквент правила — множество операций, выполняемых над метаграфом.

Правила метаграфового агента можно разделить на замкнутые и разомкнутые.

Разомкнутые правила не меняют в правой части правила фрагмент метаграфа, относящийся к левой части правила. Можно разделить входной и выходной фрагменты метаграфа. Данные правила — аналог шаблона, который порождает выходной метаграф на основе входного.

Замкнутые правила меняют в правой части правила фрагмент метаграфа, относящийся к левой части правила. Изменение метаграфа в правой части правил заставляет срабатывать левые части других правил. Но при этом некорректно разработанные замкнутые правила могут привести к зацикливанию метаграфового агента.

Таким образом, метаграфовый агент позволяет генерировать один метаграф на основе другого (с применением разомкнутых правил) или модифицировать метаграф (с использованием замкнутых правил).

Агенты поддерживают принцип холонической организации. То есть агент может быть построен как структура из агентов нижнего уровня, которые агент считает «элементарными», но которые, в свою очередь, могут состоять из агентов более низкого уровня. Для этого применяется контейнерный агент, представляющий собой метаграф, вершины и метавершины которого являют-

ся агентами: $ag^C = MG, v_i \equiv ag_i, v_i \in V$, $mv_i \equiv ag_i, mv_i \in MV$, где ag^C — контейнерный агент; MG — метаграф; v_i — вершина метаграфа; ag_i — агент; V — множество вершин метаграфа; mv_i — метавершина метаграфа; MV — множество метавершин метаграфа.

В модели предусмотрена возможность динамической перестройки как структуры связей между агентами, так и внутренней структуры самого агента. Поскольку речь идет о холонической организации агентов, то возможны случаи, когда изменение внутренней структуры самого агента предполагает изменение связей между входящими в его состав агентами нижнего уровня.

Для изменения структуры используется динамический метаграфовый агент, правила обработки которого выполняются не на метаграфе данных и знаний, а на метаграфе агентов для заданного контейнерного агента: $ag^{MD} = \left\langle \left(ag^C \cup ag^{MD} \right), R, AG^{ST} \right\rangle, R = \left\{ r_j \right\}$, где ag^{MD} — динамический метаграфовый агент; ag^C — контейнерный агент, на метаграфе которого выполняются правила агента; R — набор правил (множество правил r_j); AG^{ST} — стартовое условие выполнения агента (фрагмент метаграфа, который используется для стартовой проверки правил, или стартовое правило).

По определению, контейнерный агент включает все рассмотренные ранее виды агентов: агенты-функции и метаграфовые агенты. Поэтому динамический метаграфовый агент может изменять все виды агентов.

Определение данного агента использует тот факт, что в предлагаемой модели все агенты — метаграфы, поэтому любые элементы структуры агентов доступны для обработки агентами верхнего уровня. Эта особенность — аналог свойства «самоотображаемости» в традиционных языках программирования.

Отметим, что данное определение — рекурсивное. Динамические метаграфовые агенты первого уровня могут обрабатывать статические контейнерные агенты, метаграфовые агенты второго уровня могут обрабатывать метаграфовые агенты первого уровня и так далее. По мере необходимости систему можно надстраивать требуемыми уровнями динамики.

Правила динамического метаграфового агента базируются на операциях над метаграфами. В зависимости от условий, динамический метаграфовый агент может решать следующие задачи: первичное развертывание, создание системы агентов более низкого уровня; изменение системы нижнего уровня (изменение внутренней структуры агентов, изменение связей между агентами, удаление агентов).

Динамические метаграфовые агенты могут применять метазнания, которые также можно представить в виде метаграфа.

Метаграфовый подход предполагает иерархическую систему организации знания и взаимодействия с внешней средой. Такая система может быть обнаружена в живых системах, и в частности в организации деятельности мозга. Мозг представляет собой существенно нелинейную систему, в которой обра-

ботка информации осуществляется в виде динамических процессов [8]. При этом иерархия таких процессов может быть интерпретирована как иерархия языков с явным проявлением эмерджентности при переходе от нижних уровней к более высоким уровням [9].

В настоящее время такие процессы можно осмыслить с точки зрения теории динамических систем. Возникновение в 1970—1980 гг. нового направления в области нелинейных динамических систем — синергетики [10] позволило понять основные принципы самоорганизации в сложных динамических системах. В это же время формируется новое направление в области теории динамических систем — символическая динамика. При этом наблюдается тесная связь между синергетикой и символической динамикой. Предпосылки к возникновению символической динамики были представлены еще в конце XIX века великими французскими математиками А. Пуанкаре и Ж. Адамаром. В дальнейшем американский математик М. Морс ввел в научный обиход само понятие «символическая динамика». Работы Р. Адлера, С. Смейла, Я. Синая позволили расширить область исследований символической динамики. В настоящее время это направление в теории динамических систем тесно связано с представлением информации и теорией графов.

Одна из наиболее важных задач — переход от фазового пространства динамической системы к графу состояний дискретной системы, фактически переход от «микроуровня» к «макроуровню».

Рассмотрим применение символической динамики и ее связь с теорией графов на примере двух классов динамических систем — непрерывных и дискретных. Будем рассматривать динамический процесс, развертывающийся во времени. Для непрерывных систем описание динамического процесса основано на использовании систем дифференциальных уравнений типа $\dot{x}(t) = f(x(t), p), x, \dot{x} \in R^n, p \in R^m, n, m \in N$ и начальных условий $x(0) = x_0$. Уравнения описывают состояние системы во времени. При этом будем считать, что параметры системы p изменяются под действием внешней среды. Будем предполагать, что система — детерминирована. Аналогично для дискретной системы можно записать $x_{k+1} = x_k + \phi(x_k, p)$ и начальных условий x_0. При этом номер k можно рассматривать как дискретное время. Если решение системы представить в фазовом пространстве $(\frac{dx}{dt}, x)$ или (x_{k+1}, x_k), то в результате получим фазовую траекторию, описывающую поведение системы. Для анализа решения возможно использование сечения Пуанкаре, которое позволяет выполнить отображение динамической системы на многообразии $M \subset R^{n-1}$. Динамическая система может проявлять себя как устойчивая или неустойчивая система. Рассмотрим случай, когда система описывается множеством аттракторов (например, предельных циклов). Наличие аттрактора можно связать с определенным устойчивым состоянием системы. Тогда это состояние можно идентифицировать с некоторым символом. Множество этих символов можно поставить в соответствие некоторому воздействию среды на

динамическую систему. Тогда совокупность символов можно интерпретировать как некоторое слово. Связь между состояниями системы в этом случае может быть описана с помощью графа перехода из одного состояния в другое.

Профессор Г.С. Осипенко в монографии [11] вводит понятие символического образа динамической системы. Фазовое пространство динамической системы разбивается на ячейки M_i, устанавливается изоморфизм между ячейками фазового пространства и вершинами v_i плоского графа $G = \langle V, E \rangle, v_i \in V, e_{jk} \in E,$ где вершина v_i принадлежит множеству вершин *V*, а ребро e_{jk} принадлежит множеству направленных ребер *E*. Вершины *j* и *k* связаны ориентированным ребром e_{jk} только в том случае, если траектория движения системы в фазовом пространстве предусматривает возможность перехода из ячейки M_j в ячейку M_k.

Отметим, что предлагаемый в [11] подход фактически реализует «глубинную интеграцию» моделей по Н.Г. Ярушкиной и действительно позволяет реализовать переход от «микроуровня» к «макроуровню» при изучении динамической системы. Однако в результате такого перехода получается плоский граф *G*, который содержит только информацию о возможных переходах между ячейками фазового пространства динамической системы. Такая семантика может быть слишком ограниченной для полноценного анализа системы.

Применение метаграфового подхода позволяет аннотировать граф *G* дополнительной информацией. С использованием метавершин метаграфа множество вершин *V* может быть организовано в онтологию или совокупность онтологий, на основе множества ребер *E* можно вычислить переходы между элементами онтологии верхнего уровня, чтобы лучше понять поведение системы на макроуровне.

Метаграфовый подход также облегчает изучение семейств динамических систем. В этом случае для каждой динамической системы строится графовый символический образ, а затем полученные графы могут быть организованы в общую метаграфовую онтологию.

Таким образом, гибридизация метаграфового подхода и символической динамики позволяет осуществить переход от «микроуровня» фазового пространства к «макроуровню» организованных в онтологию состояний системы, что дает возможность использовать состояния динамической системы в качестве данных и знаний в информационной системе.

Список литературы

1. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.

2. *Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В.* Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН, 2014.

3. *Рыбина Г.В., Паронджанов С.С.* Технология построения динамических интеллектуальных систем : учебное пособие. М. : НИЯУ МИФИ, 2011.

4. *Прикладные* интеллектуальные системы, основанные на мягких вычислениях / под ред. Н.Г. Ярушкиной. Ульяновск : УлГТУ, 2004.

5. *Самохвалов Э.Н., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е.* Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2015. Вып. 1. С. 83—99.

6. *Черненький В.М., Терехов В.И., Гапанюк Ю.Е.* Структура гибридной интеллектуальной информационной системы на основе метаграфов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. Вып. 9. С. 3—14.

7. *Черненький В.М., Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И. и др.* Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем // Прикладная информатика. 2017. Т. 12, № 3(69). С. 57—79.

8. *Nicolis J.S.* Dynamics of Hierarchical Systems. An Evolutionary Approach. Springer Verlag, 1986.

9. *Pribram K.H.* Brain and Perception. Holonomy and Structure in Figural Processing. Taylor & Frencise Group, 2011.

10. *Haken H.* Synergetics. Springer-Verlag, 1978.

11. *Osipenko G.* Dynamical Systems, Graphs, and Algorithms. Springer-Verlag, 2007.

Е.Р. Мунтян

ФГАОУ ВО Южный федеральный университет (ЮФУ), Таганрог, Россия

e-mail: ermuntyan@sfedu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

В работе исследуются подходы к представлению знаний в системах поддержки принятия решений (СППР) для задач моделирования взаимодействия социальных групп. Интерес к моделированию и изучению взаимоотношений в обществе между социальными, религиозными, этническими и другими группами не теряет популярность и в настоящее время [1]. В таких моделях обычно используются знания о психологии самой личности, межличностных отношениях и т.д. Системы моделирования взаимодействия социальных групп могут быть отнесены к большим системам со сложной структурой.

В связи с этим возникает интерес создания СППР при моделировании взаимодействия социальных групп и соответственно представления знаний для заданной предметной области. В то же время в литературе отмечается интерес к созданию гибридных моделей представления знаний [2—4], основанных на сочетании классических моделей.

При проектировании модели представления знаний следует учитывать такие факторы, как однородность представления и простота понимания [5]. Однородность представления приводит к упрощению механизма управления логическим выводом и упрощению управления знаниями. Представление

© Мунтян Е.Р., 2018

знаний должно быть понятным экспертам и пользователям системы. Для решения сложных и больших задач необходимы структурирование и модульное представление.

Все представленные на сегодняшний день классические модели представления знаний можно разбить на две большие группы: формальные и эвристические (неформальные) модели представления знаний.

К формальным моделям представления знаний относятся логические модели. Такие модели наиболее строгие в математическом плане, однако в промышленных интеллектуальных системах логические модели практически не используются ввиду своей сложности.

В то же время эвристические модели обладают простотой и наглядностью, но не имеют строгой теории логического вывода. К эвристическим моделям относятся семантическая, продукционная и фреймовая модели.

Семантическая модель (сеть), как правило, представляется графом. В силу близости с теорией графов семантические сети, с одной стороны, универсальны для различных задач искусственного интеллекта, с другой — такие модели не обладают свойством универсальности в достаточной мере, т. е. для каждой конкретной задачи требуется прикладная доработка модели [6]. Кроме того, семантические сети занимают значительный объем памяти.

Фреймовые модели представления знаний были предложены *M. Minsky* [7]. Фрейм — статистическая структура данных, которая объединяет иерархию признаков (имен) и множество процедур [8]. Для хранения информации во фреймах используются слоты с уникальными именами. Слоты могут быть терминальными или фреймами, образуя тем самым иерархическую сеть. При обращении к конкретному слоту во фреймовой модели автоматически запускается одна из процедур-демонов («если-нужно», «если-добавлено» или «если-удалено»).

Для вывода знаний во фреймовой модели применяются механизм наследования, внутренние (процедуры-демоны) и присоединенные процедуры. Цепочка логического вывода строится поэтапно по мере приближения к решению, в зависимости от выведенных на каждом шаге данных и выведенных к этому шагу новых знаний.

Свойство вложенности, возможность иметь в качестве значений слотов ссылки на другие фреймы и на другие слоты того же самого фрейма обеспечивают фреймовым языкам удовлетворение требованиям структурированности и связности знаний. Наличие имен фреймов и имен слотов означает, что знания, хранимые во фреймах, внутренне интерпретированы. Возможность размещения в качестве слотов требования вызова тех или иных процедур для исполнения позволяет активизировать программы на основе имеющихся знаний. Таким образом, фреймовые модели удовлетворяют основным признакам знаний — интерпретируемости, структурированности, связности и активности [9; 10].

Также следует отметить достоинства фреймовых моделей, в том числе возможность оперировать глубоко структурированными знаниями на основе

объектно-ориентированного подхода; описывать метазнания и формировать на их основе новые знания, а также удобство хранения данных благодаря связи с базой данных. Системы, основанные на фреймах, включены во многие существующие информационно-поисковые сети. Кроме того, теория фреймов, точнее ее различные реализации в психологии, — самый приближенный к достижениям современной теории информационных систем вариант описания процесса индивидуального познания [11], что важно при разработке СППР для моделирования взаимодействий социальных групп.

Однако на практике фреймовая модель в чистом виде редко используется для представления знаний. В качестве недостатков фреймовых моделей можно отметить трудность логической формализации полученных на ее основе новых программных средств [6]. Это связано с тем, что вывод на знаниях ограничивается механизмом наследования и оригинальными процедурами, присоединенными к слотам фрейма, когда вся ответственность за правильность вывода возлагается на программиста.

Продукционная модель включает правила или продукции «если-то» из базы знаний (БЗ), составленных экспертами. Последовательность применения правил в продукционной модели задают факты. Факты представляют собой предпосылки, касающиеся конкретных задач предметной области и результаты выводов, полученных на их основе.

В решателе продукционной модели факты проверяются на соответствие правилам. Окончательное решение выводится при помощи механизма логического вывода, к основным функциям которого относятся: поиск в БЗ, последовательное выполнение операций над знаниями и получения заключений.

Основные достоинства продукционных моделей связаны с простотой представления знаний и организации логического вывода [6]. В то же время продукционные системы редко используются при разработке больших систем из-за ряда недостатков: сложность и громоздкость структуры базы данных, сложность оценки целостного образа знаний и низкая эффективность обработки знаний. Кроме того, структура знаний продукционных моделей не свойственна человеку, что особенно важно в случае заданной предметной области.

Выполненный обзор классических моделей представления знаний наводит на мысль о необходимости разработки гибридных систем с целью сочетания достоинств ряда моделей с минимизацией их недостатков. Сочетание фреймовых и продукционных систем позволяет использовать глубокие возможности структурного подхода к представлению знаний фреймовой модели и реализовать процесс означивания фреймов с помощью процедур. Для представления знаний в такой модели применяется гибридный механизм вывода.

Гибридная модель представления знаний, интегрирующая фреймовый и продукционный подходы, может быть представлена следующим образом:

$$GM = \langle Root, FRAME, SLOT, PROC, TERM, PROD, FRAME - FACT, OUT_G \rangle,$$

где *Root* — фрейм-корень (фрейм или фреймы верхнего уровня); *FRAME* = = $\{Frame_j \mid j = 1, 2, \ldots, f\}$ — множество фреймов; f — количество фреймов в

модели; $SLOT = \{\cup Slot_i\ (f) \mid i = 1, 2,\ldots, s(f)\}$ — множество слотов всех фреймов; s — количество слотов фрейма f; $s(f)$ — общее количество слотов во всех f фреймах; $PROC$ — набор всех процедур фреймовой модели; $TERM$ — множество терминов предметной области (словарь); $PROD = \{Prod_1, Prod_2, \ldots, Prod_p\}$ — множество правил гибридной модели; p — количество правил гибридной модели; $FRAME\text{-}FACT = \{frame\text{-}fact_k, \mid k = 1, 2,\ldots, c\}$ — множество фреймов-фактов; $frame\text{-}fact_j$ — k-й фрейм-факт; c — количество фрейм-фактов гибридной модели; OUT_G — гибридный механизм вывода модели.

Факты в гибридной модели обладают структурой фрейма. Фреймы-факты управляют последовательностью применения правил созданной модели.

Гибридный механизм вывода объединяет в себе возможности фреймовых и продукционных моделей и реализует логический вывод, присущий продукционной модели, и механизмы наследования и создания фреймов-фактов.

В заключение отметим: в статье предложено формальное описание гибридной модели представления знаний, сочетающей фреймовую и продукционную модели. Из описания следует, что предложенная гибридная модель представления знания удовлетворяет предъявляемым в настоящее время необходимым требованиям, в том числе однородности представления и простоте понимания. Применение гибридных подходов для представления знаний позволяет сочетать достоинства обеих моделей с минимизацией их недостатков. Предлагаемая гибридная модель совместно с использованием глубоких возможностей структурного подхода к представлению знаний фреймовой модели, реализует процесс означивания фреймов с помощью процедур. Представление знаний в предложенной модели происходит с применением гибридного механизма вывода.

Список литературы

1. *Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р.* О решении некоторых задач, возникающих при моделировании взаимодействия социальных групп // VIII Всероссийская научная конференция «Системный синтез и прикладная синергетика» : сб. науч. тр. Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2017. С. 240—249.

2. *Лавыгина А.В., Ходашинский И.А.* Гибридный алгоритм настройки параметров нечетких моделей // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (Россия, Тверь) : труды. М. : Физматлит, 2010. Т. 4. С. 112—115.

3. *Wanga H., Kwonga S., Jinb Y. et al.* Multiobjective hierarchical genetic algorithm for interpretable fuzzy rule-based knowledge extraction // Fuzzy Sets and Systems. 2005. № 149. P. 149—186.

4. *Авдеенко Т.В., Макарова Е.С.* Система поддержки принятия решений в IT-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии // Вестник АГТУ. 2017. № 3. С. 85—99.

5. *Уэно Х., Коямо Т., Окамото Т. и др.* Представление и использование знаний / пер. с япон.; под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М. : Мир, 1989.

6. *Каширин Д.И., Каширин И.Ю.* Модели представления знаний в системах искусственного интеллекта // Вестник РГРТУ. 2010. № 1 (вып. 31). С. 36—43.

7. *Minsky M.* A Framework for Representing Knowledge // Patrick Henry Winston (ed.), The Psychology of Computer Vision. N. Y., 1975.

8. *Сергеев Н. Е., Зарницын В. П.* Фреймовые модели и перспективы использования в них мягких вычислений // Известия ТРТУ. Технические науки. 2003. № 2 (31). С. 171—175.

9. *Кондрашина Е. Ю., Литвинцева Л. В., Поспелов Д. А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1989.

10. *Вагин В. Н.* Знание в интеллектуальных системах // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 6 (54). С. 8—18.

11. *Когнитивная* психология : учебник для вузов / под ред. В. Н. Дружинина, Д. В. Ушакова. М. : ПЕР СЭ, 2002.

Г. В. Рыбина, Ю. М. Блохин, Л. С. Таракчян
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
e-mail: galina@ailab.mephi.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ТИПОЛОГИИ: НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ

Введение

В настоящее время интеллектуальные системы и технологии, будучи основой ключевых технологий XXI века, применяются практически во всех производственных и социально значимых областях человеческой деятельности, поскольку их качественно новые возможности позволяют значительно повысить эффективность использования вычислительной техники в традиционных сферах ее применения за счет решения новых классов задач с использованием методов и средств искусственного интеллекта.

Среди отдельных классов интеллектуальных систем (например, [1—3]) наиболее востребованы в настоящее время интегрированные экспертные системы (ИЭС) [4]. Анализ опыта разработки зарубежных и отечественных ИЭС, в том числе созданных на основе задачно-ориентированной методологии построения ИЭС (автор Г. В. Рыбина) и поддерживающего эту методологию инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [4; 5], показал, что наибольшей сложностью по-прежнему обладают этапы проектирования и реализации ИЭС, причем существенное влияние оказывают специфика конкретной проблемной области (ПрО) и человеческий фактор.

Здесь можно отметить несколько основных проблем, показывающих необходимость создания эффективных инструментальных средств автоматизированной поддержки процессов разработки ИЭС [4; 5]: неспособность пользователей (инженеров по знаниям) полностью определять требования к разрабатываемым системам, отсутствие надежного метода оценки качества

© Рыбина Г. В., Блохин Ю. М., Таракчян Л. С., 2018

верификации и валидации разрабатываемых ИЭС, неприменимость традиционной технологии трассировки к базам знаний (БЗ) ИЭС; большое число промежуточных стадий и итераций в моделях жизненного цикла построения отдельных компонентов ИЭС; практическое отсутствие (за исключением комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) специализированных инструментальных средств, обеспечивающих: автоматизированное проектирование программного и информационного обеспечения прикладных ИЭС на всех этапах жизненного цикла; повторное использование отдельных программных и информационных компонентов; наличие внутренней интегрируемости инструментальных средств; поддержка удобного когнитивно-графического интерфейса; открытость и переносимость инструментальных средств.

Подавляющее число коммерческих зарубежных инструментальных средств, например G2 (Gensym Corp.), RTWorks (Talarian Corp.), SHINE (NASA / JPL), RTXPS (Environmental Software & Services GmbH) и др., не «знают», что проектирует и разрабатывает с их помощью инженер по знаниям, поэтому эффективность применения полностью определяется искусством разработчиков. В контексте решения вышеперечисленных проблем определенные результаты были получены в рамках таких подходов, как KBSA (Knowledge Based Systems Assistent) и KBSE (Knowledge Base Software Engineering), интегрирующих, как правило, возможности средств поддержки разработки традиционных экспертных систем (ЭС) и CASE-средств, а в отдельных случаях обеспечивающих «интеллектуализацию» процессов разработки интеллектуальных систем [4; 5].

Наиболее известный инструментарий нового поколения, в котором реализован KBSE-подход, — инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [4; 5], обеспечивающий автоматизированную поддержку процессов построения ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии и включающий интеллектуальное ассистирование (планирование) действий инженеров по знаниям за счет применения технологических знаний о типовых проектных процедурах (ТПП) и повторно используемых компонентах (ПИК) предшествующих проектов, представляющих собой базовые компоненты модели интеллектуальной программной среды, концепция которой детально описана в [4] и других работах.

Новые результаты в развитии интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ были получены за счет расширения функциональности другого базового компонента — *интеллектуального планировщика*, что обеспечило не только эффективную помощь инженерам по знаниям, но и планирование, и управление разработкой в целом. Анализ текущих версий интеллектуального планировщика комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [4; 5] показал, что с усложнением архитектур ИЭС и появлением в составе технологической БЗ большого количества ТПП и ПИК время поиска решений значительно увеличилось. Поэтому поиск стал достаточно трудоемким, а негативный эффект от неоптимальности выбора решений стал более существенным. Следовательно, возникла необходимость усовершенствования методов и алгоритмов планирования, используемых интеллектуальным планировщиком.

Результаты системного анализа современных методов интеллектуального планирования и проведенные экспериментальные исследования [6; 7] показали целесообразность применения достаточно известного подхода, связанного с *планированием в пространстве состояний*.

Ниже обсуждаются некоторые результаты дальнейшего развития базовых компонентов интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, предназначенных для автоматизации и интеллектуализации процессов построения ИЭС различной архитектурной типологии на основе задачно-ориентированной методологии (детальное описание приводится в [7—12]).

1. Особенности процессов прототипирования прикладных ИЭС

Концептуальная основа задачно-ориентированной методологии — многоуровневая модель процессов интеграции в ИЭС, моделирование конкретных типов задач, релевантных технологии традиционных ЭС, методы и способы построения программной архитектуры ИЭС и ее компонентов на каждом уровне интеграции и т. д. Детальное описание разработанных и исследованных на практике методов построения различных ИЭС с широкой архитектурной типологией содержится в [4; 5], а также в других работах, поэтому здесь сфокусируем основное внимание на общей постановке задачи интеллектуального планирования [6—12] применительно к моделям, методам и средствам интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Как было отмечено выше, основная цель задачно-ориентированной методологии и поддерживающего ее инструментария — интеллектуализация достаточно сложных и трудоемких процессов прототипирования прикладных ИЭС различной архитектурной типологии на всех этапах жизненного цикла, начиная от системного анализа ПрО до создания серии прототипов ИЭС. Для снижения интеллектуальной нагрузки на инженеров по знаниям, минимизации возможных ошибочных действий и временных рисков при прототипировании ИЭС в соответствии с [4] предусмотрено использование технологической БЗ, содержащей значительное число ТПП и ПИК, отражающих экспертный опыт инженеров по знаниям по созданию прикладных ИЭС (статических, динамических, обучающих).

Поэтому в данной работе формальная постановка задачи интеллектуального планирования процессов прототипирования ИЭС рассматривается в контексте модели процессов прототипирования ИЭС в следующем виде: $M_{proto} = < T, S, Pr, Val, A_{IES}, PlanTask_{IES} >$, где T — множество ПрО, для которых создаются прикладные ИЭС; S — множество стратегий прототипирования; Pr — множество созданных и/или создаваемых прототипов ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии; Val — функция экспертной валидации прототипа ИЭС, определяющая необходимость и/или возможность создания последующих прототипов ИЭС для конкретной ПрО; A_{IES} — множество всех возможных действий инженеров по знаниям в процессе прототипирования; $PlanTask_{IES}$ — функция планирования действий инженеров по зна-

ниями для получения текущего прототипа ИЭС для конкретной ПрО. В [12] приводится детальное описание всех компонентов M_{proto}, а также конкретизация некоторых базовых компонентов модели интеллектуальной программной среды.

Для эффективной реализации компонента $PlanTask_{IES}$ модели M_{proto} изучены современные методы интеллектуального планирования в пространстве состояний [13—17]. Экспериментальное программное исследование показало, что наилучшие результаты достигаются, если пространство поиска формируется за счет моделирования действий инженера по знаниям при построении фрагментов модели архитектуры [4; 5] прототипа ИЭС с помощью соответствующих ТПП (для формального описания этого процесса можно использовать теорию графов путем сведения к задаче покрытия модели архитектуры прототипа ИЭС, представленной в виде помеченного графа, фрагментами ТПП в виде соответствующих подграфов).

Важную роль для реализации компонента $PlanTask_{IES}$ играет план построения конкретного покрытия (т. е. последовательность примененных фрагментов ТПП), который может быть однозначно преобразован в план построения прототипа ИЭС. В этом случае план построения прототипа ИЭС [12] можно представить в виде $Plan = < A_G, A_{atom}, R_{prec}, R_{detail}, PR >$, где A_G — множество глобальных задач (декомпозируемых на подзадачи); A_{atom} — множество плановых (атомарных) задач, выполнение которых необходимо для разработки прототипа ИЭС; R_{prec} — функция, определяющая отношение предшествования между плановыми задачами; R_{detail} — отношение, показывающее принадлежность плановой задачи к глобальной задаче; PR — представление плана, удобное для инженера по знаниям.

С помощью отношения R_{prec} и множеств A_G и A_{atom} формируются две сети задач — укрупненная и детальная. Укрупненная сеть задач, полученная с помощью R_{prec} и A_G, называется *глобальным* планом (отношение предшествования между элементами A_G получено на основе отношения детализации R_{detail}), а детальная сеть задач, полученная на основе R_{prec} и A_{atom}, называется *детальным* планом, причем каждая плановая задача связана с определенной функцией конкретного операционного ПИК.

Исходя из опыта разработки прикладных ИЭС, на структуру ТПП накладывается определенное ограничение — в любой ТПП содержится хотя бы один обязательный фрагмент и произвольное число опциональных фрагментов, связанных с обязательным фрагментом, по крайней мере одним потоком данных. Как правило, первый элемент из множества фрагментов включает в себя неформализованную операцию (НФ-операцию) [4], играющую основную роль в построении архитектуры текущего прототипа ИЭС.

2. Общая постановка задачи генерации планов разработки прототипов ИЭС

Рассмотрим общую постановку задачи генерации планов разработки прототипов ИЭС. В качестве исходных данных выступают: модель архитектуры

прототипа ИЭС, описанная с помощью иерархии расширенных диаграмм потоков данных (РДПД [4]); технологическая БЗ, содержащая множество ТПП и ПИК. Кроме того, был введен ряд ограничений и рабочих определений.

1. Из состава модели архитектуры $M_{ИЭС}$, построенной на этапе анализа системных требований, используется только множество элементов и множество потоков данных, представимых в виде размеченного ориентированного графа $G_{РИЛ}$, где метки определяют связь между элементами иерархии РДПД и вершинами и дугами графа. Данный граф называется *обобщенной* РДПД, и он может быть однозначно получен из исходной модели архитектуры прототипа ИЭС.

2. Фрагмент обобщенной РДПД представляет собой произвольный связанный подграф, содержащийся в $G_{РИЛ}$. Экземпляром ТПП называется совокупность ТРР и фрагмента обобщенной РДПД, удовлетворяющего условиям применимости соответствующей ТПП. *Покрытие* (*Cover*) обобщенной РДПД — множество экземпляров ТПП, с взаимно непересекающимися фрагментами, содержащими все вершины $G_{РИЛ}$ (или покрывают весь $G_{РИЛ}$).

3. *Грубым покрытием* обобщенной РДПД называется такое покрытие РДПД, в котором все экземпляры ТПП содержат только обязательные фрагменты. *Точное покрытие* — расширение грубого покрытия за счет включения в покрытие опциональных фрагментов.

4. Включению каждого фрагмента ТПП в покрытие сопоставляется некоторая *стоимость*, определяемая экспертной оценкой на основе технологического опыта.

Таким образом, задача генерации плана разработки прототипа ИЭС, с учетом исходных данных и введенных ограничений, хорошо представляется в терминах состояний и переходов [13—15] в виде модели $PlanTask_{IES} = < S_{IES}, A_{IES}, \gamma, Cost, s_0, G_{IES}, F_{COVER} >$, где S_{IES} — множество состояний графа $G_{РИЛ}$, описывающих текущее покрытие *Cover*; A_{IES} — множество возможных действий над $G_{РИЛ}$, заключающихся в добавлении к покрытию фрагментов конкретных экземпляров ТПП (полное множество формируется в совокупности *WKB* и $G_{РИЛ}$); γ — функция перехода между состояниями; *Cost* — функция, определяющая стоимость последовательности переходов; s_0 — начальное состояние, описывающее пустое покрытие; G_{IES} — функция определения принадлежности состояния к целевому; F_{COVER} — функция генерации плана разработки (*Plan*) из покрытия (*Cover*).

Решение $PlanTask_{IES}$ — план действий инженера по знаниям (модель *Plan*). План должен быть оптимальным, для чего необходимо построить допустимую эвристическую функцию.

Для решения поставленной задачи разработан метод (детально описан в [12]), в котором выделены четыре этапа: получение обобщенной РДПД ($G_{РИЛ}$) из модели архитектуры $M_{ИЭС}$; генерация точного покрытия *Cover* с помощью эвристического поиска; генерация плана действий инженера по знаниям (*Plan*) на основе полученного детального покрытия (*Cover*); генерация представления плана (*PR*) на основе покрытия (*Cover*). Для реализации каждого этапа разработаны соответствующие алгоритмы.

3. Особенности программной реализации базовых компонентов интеллектуальной программной среды

В работах [7—12] неоднократно описывались особенности проектирования и программной реализации интеллектуального планировщика, а также отдельных компонентов интеллектуальной программной среды, поэтому приведем здесь только краткую характеристику состава и структуры программных средств интеллектуальной программной среды, включающих ядро, подсистему пользовательского интерфейса и библиотеку расширений, реализующую взаимодействие с операционными ПИК. Подсистема пользовательского интерфейса обладает удобным графическим интерфейсом, на основе которого обеспечивается взаимодействие ПИК с инженером по знаниям с помощью экранных форм. Технологическая БЗ условно подразделяется на библиотеку расширений, хранящую операционные знаниям в виде плагинов, реализующих соответствующие операционные ПИК, и на декларативную часть. В ядре реализуется вся основная функциональность автоматизированной поддержки разработки прототипов ИЭС, управление файлами проекта, управление расширениями и др.

Интеллектуальный планировщик — часть ядра и реализует функциональность, связанную с планированием процессов прототипирования ИЭС. С помощью препроцессора иерархии РДПД производится предобработка иерархии РДПД за счет ее преобразования в одну обобщенную диаграмму максимальной детализации. Задача покрытия детализированной РДПД имеющимися ТПП реализуется с помощью генератора глобального плана, который на основе технологической БЗ и построенной обобщенной РДПД обеспечивает выполнение задачи, в результате чего строится точное покрытие, преобразуемое в дальнейшем в глобальный план разработки. Генератором детального плана осуществляется детализация каждого элемента покрытия, т. е. на основе полученного покрытия РДПД и технологической БЗ осуществляется детализация каждого элемента покрытия, формируя тем самым предварительный детальный план. Затем на основе анализа доступных ПИК и их версий (данные о которых запрашиваются у компонента управления процессом разработки), компонентом интерпретации плана формируется детальный план, где каждая задача связана с конкретным ПИК и может быть выполнена инженером по знаниям. С помощью компонента построения конечного плана производится формирование необходимого представления плана для его использования другими компонентами интеллектуальной программной среды (компонент визуализации плана и др.).

Заключение

Таким образом, разработана новая технология использования интеллектуальной программной среды для построения прототипов прикладных ИЭС, в которой существенная роль отводится интеллектуальному планировщику,

с помощью которого минимизируются риски ошибочных действий инженеров по знаниям, сокращаются стоимостно-временные показатели разработки на каждом этапе жизненного цикла и т. д.

На основе данных, полученных в результате совместного тестирования интеллектуального планировщика и других компонентов интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, сделан вывод, что все разработанные средства могут достаточно эффективно применяться в процессе прототипирования прикладных ИЭС. Разработанные программные средства были интегрированы в состав комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, с использованием которого разработаны: прототип динамической ИЭС для управления медицинскими силами и средствами при крупных дорожно-транспортных происшествиях; прототип динамической ИЭС для управления ресурсами спутниковой сети; прототип статической ИЭС для диагностики заготовок для электронно-лучевой литографии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-01-00457).

Список литературы

1. *Giarratano C., Riley G.D.* Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition. Course Technology, 2004.

2. *Meystel A.M., Albus J.S.* Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control. New York, NY, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2000.

3. *Schalkoff R.* Intelligent Systems: Principles, Paradigms, and Pragmatics. Jones & Bartlett Learning, 2011.

4. *Рыбина Г.В.* Теория и технология построения интегрированных экспертных систем : монография. М. : Научтехлитиздат. 2008.

5. *Рыбина Г.В.* Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах. М. : Научтехлитиздат, 2014. Кн. 1: Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы.

6. *Rybina G.V., Blokhin Y.M.* Methods and means of intellectual planning: Implementation of the management of process control in the construction of an integrated expert system // Scientific and Technical Information Processing. 2015. Vol. 42, № 6. P. 432—447.

7. *Rybina G.V., Blokhin Y.M.* Use of intelligent planning for integrated expert systems development // 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, IS 2016 Proceedings. IEEE, 2016. P. 295—300.

8. *Rybina G.V., Rybin V.M., Blokhin Y.M. et al.* Intelligent programm support for dynamic integrated expert systems construction // Procedia Computer Science, 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2016, held July 16 to July 19, 2016 in New York City, N.Y, USA. New York, N.Y, 2016. Vol. 88. P. 205—210.

9. *Rybina G.V., Rybin V.M., Blokhin Y.M. et al.* Intelligent technology for integrated expert systems construction // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Vol. 451. P. 187—197.

10. *Rybina G.V., Blokhin Y.M.* Intelligent software environment for integrated expert systems development // Proceedings of the 2016 International conference on artificial intelligence ICAI2016. USA: CSREA Press, 2016. P. 230—236.

11. *Rybina G.V., Blokhin Y.M., Parondzhanov S.S.* Intelligent planning methods and features of their usage for development automation of dynamic integrated expert systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham : Springer International Publishing, 2018. Vol. 636. P. 151—156.

12. *Рыбина Г.В., Блохин Ю.М.* Методы и программные средства интеллектуального планирования для построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 1. С.12—28

13. *Nau D.S.* Current trends in automated planning // AI Magazine. 2007. Vol. 28, № 4. P. 43—58.

14. *Ghallab M., Nau D.S., Traverso P.* Automated planning — theory and practice. Elsevier, 2004.

15. *Ghallab M., Nau D., Traverso P.* Automated Planning and Acting. New York, NY, USA : Cambridge University Press, 2016.

16. *Geffner H., Bonet B.* A Concise Introduction to Models and Methods for Automated Planning // Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning. June 2013. Vol. 7, № 2. P. 1—141.

17. *Korf R.E., Taylor L.A.* Finding optimal solutions to the twenty- four puzzle // Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence and Eighth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, AAAI 96, IAAI 96, Portland, Oregon, August 4—8, 1996. Portland, OR : AAAI Press, 1996. Vol. 2. P. 1202—1207.

Секция 2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ, МЕДИЦИНЕ, ЭКОНОМИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Руководители секции — д-р техн. наук, проф. И. Б. Арефьев
д-р техн. наук, проф. И. Б. Фоминых

Н. В. Барановский
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
e-mail: firedanger@yandex.ru

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА СИСТЕМЫ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ ОБ УРОВНЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЛЕСОПОКРЫТЫЕ ТЕРРИТОРИИ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Лесные пожары уничтожают лесной фонд и загрязняют атмосферу продуктами пиролиза и горения лесных горючих материалов (ЛГМ) [1]. Важное звено профилактических мероприятий по предотвращению негативного влияния лесных пожаров на фитоценозы и населенные пункты — прогноз их возникновения.

В Канаде оценка лесной пожарной опасности проводится в рамках многокомпонентной системы Canadian Wildland Fire Information System (CWFIS) [2]. Для оценки риска возникновения лесных пожаров применяется система Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) [3]. Она производит качественную и количественную оценку индекса пожарного потенциала (fire potential), который используется в широком диапазоне управленческой деятельности. Входные данные включают погодные условия, характеристики лесного горючего материала, топографические параметры, необходимые для предсказания лесопожарного созревания, возникновения лесного пожара и оценки поведения лесного пожара. В CFFDRS входят следующие подсистемы [3]:

— Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System; Компоненты подсистемы вычисляются с использованием ежедневных данных по температуре, относительной влажности, скорости ветра и суточным осадкам.

— Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System; Эта подсистема обеспечивает количественные оценки возможной скорости распространения передней кромки лесного пожара, потребление лесного горючего материала, интенсивность пожара и его описание [4].

— Canadian Forest Fire Occurrence Prediction (FOP) System (по сути, еще в стадии разработки существует несколько региональных схем); используется для оценки вероятности возникновения лесного пожара.

— Accessory Fuel Moisture System (в стадии разработки);

© Барановский Н. В., 2018

— Fire Monitoring, Mapping and Modeling System (Fire M3) [5]; система запущена в 1998 г. Как инициатива Canada Center for Remote Sensing и Canadian Forest Service, входят в состав Natural Resources Canada. Цели Fire M3 включают использование спутниковых данных низкого разрешения для идентификации и локализации активных очагов лесных пожаров на ежедневной основе, оценку ежедневной и годовой площади выгоревших территорий и моделирование поведения пожара, а также потребление биомассы пожаром.

Американская Wildland Fire Assessment System (WFAS) имеет несколько модулей для оценки потенциальных пожаров [6]: National Fire Danger Rating System применяется для оценки лесной пожарной опасности на территории США [7, 8]; Fire Potential Index (FPI) разработан для объединения спутниковых и полевых измерений в индекс, который хорошо коррелирует с возникновением лесных пожаров и может быть использован как на локальном, так и национальном масштабе вместе с ГИС.

Система European Forest Fire Information System (EFFIS) поддерживается с 1998 г. группой экспертов [9]. Подсистема прогноза генерирует ежедневные карты уровня лесной пожарной опасности на 1—10 дней вперед, используя прогноз метеорологических условий. Протестированы несколько индексов пожарной опасности [10] и адаптирован Canadian Forest Fire Weather Index System.

Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз) [11] создана в 2003 г. и запущена в эксплуатацию в 2005 г. [12]. ИСДМ-Рослесхоз предназначена для решения следующих задач [12]: оперативное обнаружение, регистрация и последующий контроль зон с подозрениями на лесной пожар; получение оперативных оценок параметров лесных пожаров и оценок последствий.

Таким образом, все системы прогноза лесной пожарной опасности, широко применяемые в мировой практике, обеспечивают вычисление некоего индекса, показывающего вероятность возникновения лесного пожара. Наиболее проработан вопрос возникновения лесных пожаров от гроз. Технологии же прогноза лесной пожарной опасности в результате антропогенной нагрузки развиты очень слабо [13]. Это обусловлено сложным характером (зачастую стохастическим) антропогенной нагрузки. Однако используются только статистические данные по антропогенным пожарам, которые доступны для отдельных выделов или кварталов лесопокрытой территории.

Следующим этап — пространственно-временной прогноз полей данных параметров. Важное значение имеет вероятность наличия источников огня, которая устанавливается через частоту событий как отношение числа лесных пожаров по вине человека в конкретный день к общему числу антропогенных пожаров (причем эта величина нормируется на единицу). Однако невозможно определить число лесных пожаров по антропогенным причинам в течение всей недели и в конкретный день недели с пространственным разрешением на уровне лесотаксационного выдела. Поэтому в качестве параметра, характеризующего уровень антропогенной нагрузки, выбрано «виртуальное (англ. virtual — возможный) число лесных пожаров».

Только в отдельных точках сетки лесного массива оно совпадает с реальным числом лесных пожаров (определенного интегрально для достаточно большой территории), а в промежуточных точках рассчитываются на модели компандер-экспандер [14] на базе процедур сплайн-интерполяции [15], имеющих преимущества в сравнении с оптимальной интерполяцией [16]. Модель анализирует данные и подготавливает начальное распределение параметров антропогенной нагрузки на лесную территорию, готовит параметрическо поле в начальный момент времени. Далее рассчитывается прогноз эволюции поля. В литературе отражены факты, которые позволяют рассматривать антропогенную нагрузку как детерминированный процесс. Авторы [17] утверждают, что процессы принятия решений и поведения, несмотря на влияние многообразных факторов, не случайные, так как всем людям присущи общие реакции на информацию о структуре и качествах пространства. Есть и общие механизмы восприятия этой информации для принятия решения. Люди со сходными информационными полями проявляют сходные предпочтения мест отдыха, т. е. ведут себя в географическом пространстве почти одинаково.

В докладе формулируется модель антропогенной нагрузки. Постулируется подобие диффузионного переноса тепла и распространения антропогенной нагрузки по лесопокрытой территории. Как следствие, процесс описывается нестационарным дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа распространения антропогенной нагрузки в пространстве и времени. Введен коэффициент антропогенной нагрузки A — аналог коэффициента температуропроводности для уравнения теплопроводности. Полученное уравнение, в отличие от уравнения Фокера-Планка-Колмогорова [18] для стохастических процессов, моделирует процесс как детерминированный. В итоге вероятность возникновения лесного пожара оценивается через частоту событий не реально зарегистрированных лесных пожаров, а «виртуального числа лесных пожаров».

Уравнение решается в пределах окружности, ограничивающей прилегающую к населенному пункту лесопокрытую территорию. В начальный момент времени $N^*(r,\varphi)$ — виртуальное число лесных пожаров имеет некоторое фоновое значение. Добавлены граничные условия по координате r. Их вид зависит от конкретной постановки задачи. По координате φ использованы периодические граничные условия. Для численного решения данной задачи применен метод циклической прогонки [19].

Конечная цель исследований в области антропогенной нагрузки на лесопокрытые территории — система усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки СУДАН для объективного анализа данных и прогноза по аналогии с системами усвоения метеорологических данных. Ранее разработана модель компандер-экспандер, которая, по сути, принадлежит к интерполяционному типу процедур анализа данных.

Таким образом, в работе предлагается прогнозная математическая модель для системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки. В последующих работах будет представлен параметрический анализ данной модели,

а также методики определения коэффициентов модели. Применение модели для прогноза лесной пожарной опасности повысит уровень детализации при учете антропогенной нагрузки. Модель обеспечит гибридный детерминированно-вероятностный прогноз возникновения лесных пожаров от антропогенной нагрузки, когда распространение антропогенной нагрузки моделируется как детерминированный процесс, с вероятностными оценками возникновения лесного пожара.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант 17-29-05093.

Список литературы

1. *Baranovskiy N.V., Kuznetsov G.V.* Forest fire occurrences and ecological impact prediction: monograph. Novosibirsk : Publishing House of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 2017.

2. Canadian Wildland Fire Information System. Official site. URL: http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/home.

3. *Gould J.S., Patriquin M.N., Wang S. et al.* Economic evaluation of research to improve the Canadian forest fire danger rating system // Forestry. 2013. Vol. 86, №3. P. 317—329.

4. *Wotton B.M.* Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications // Environmental and Ecological Statistics. 2009. Vol. 16, №2. P. 107—131.

5. *Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C. et al.* Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 37, №1—2. P. 185—198.

6. WFAS Wildland Fire Assessment System. Official site. URL: http://www.wfas.net.

7. *Deeming J.E., Lancaster J.W., Fosberg M.A. et al.* The National Fire Danger Rating System. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper RM-84, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Fort Collins, Colorado, 1974. 165 P.

8. *Deeming J.E., Burgan R.E., Cohen J.D.* The National Fire Danger Rating System — 1978. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report INT-39, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Odgen, Utah, 1977. 66 p.

9. European Forest Fire Information System. URL: http://effis.jrc.ec.europa.eu.

10. *Viegas D.X., Bovio G., Ferreira A. et al.* Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // International Journal of Wildland Fire. 1999. Vol. 10, №4. P. 235—246.

11. Information system for remote monitoring of forest fires ISDM-Rosleskhoz. Official site. URL: https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml.

12. *Радченко М.В., Балашов И.В., Ефремов В.Ю. и др.* Аппаратные комплексы для обработки, хранения и представления данных центральных узлов ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, №3. С. 167—174.

13. *Baranovskiy N., Zharikova M.* A web-oriented geoinformation system application for forest fire danger prediction in typical forests of the Ukraine // Thematic Cartography for the Society. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Cham : Springer, 2014. P. 13—22.

14. *Барановский Н.В.* Модель компандер-экспандер для системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки на контролируемой лесопокрытой территории // Современные проблемы информатизации в моделировании и анализе сложных систем : сб. тр. / под ред. проф. О.Я. Кравца. Воронеж : Научная книга, 2007. Вып. 12. С. 149—152.

15. *Бартеньев О.В.* Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL. М. : Диалог-МИФИ, 2001. Ч. 3.

16. *Flemming J., Reimer E., Stern R.* Data assimilation for CT-Modelling based on optimum interpolation // Preprints of 25th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. Belgium, Louvain-la-Neuve : Catholic University of Louvain. 2001. P. 173—1180.

17. *Андреев Ю.А., Ларченко Г.Ф.* Социально-психологические аспекты рекреационных посещений леса и возникновение пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. М. : ВНИИЛМ, 1987. С. 251—263

18. *Назаров А.А., Терпугов А.Ф.* Теория вероятностей и случайных процессов. Томск : Изд-во НТЛ, 2006.

19. *Самарский А.А., Вабищевич П.Н.* Вычислительная теплопередача. М. : Едиториал УРСС, 2003.

Н.В. Барановский[1], Е.П. Янкович[1], С.Ю. Каранина[2], А.В. Каранин[2], М.Ю. Беликова[2]

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

[2]Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия

e-mail: firedanger@yandex.ru

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ОТ ГРОЗ: ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС-СИСТЕМЫ

Лесные пожары на удаленных территориях часто возникают в результате грозовой активности [1]. Такие очаги характеризуются большими площадями лесной территории, пройденной огнем. Анализ лесопожарных происшествий последних лет (например, лесные пожары 2010 г. в Центральной России [2] и 2012 г. в Томской области) показывает, что тушение и локализация активного лесного пожара, как правило, безрезультатно. Фронт пожара затухает, встречая естественную преграду, либо гасится осадками. Только тогда пожар затухает. В результате лесных пожаров гибнут люди и уничтожаются населенные пункты [3].

Действенный способ борьбы с лесными пожарами — не локализация с последующим длительным тушением, а предупреждение. Наиболее эффективно — прогностическое моделирование [4]. Последнее десятилетие интенсивно развивается детерминировано-вероятностный подход к прогнозу лес-

© Барановский Н.В., Янкович Е.П., Каранина С.Ю., Каранин А.В., Беликова М.Ю., 2018

ной пожарной опасности, в рамках которого комбинируются детерминированные модели зажигания лесных горючих материалов [5; 6] и вероятностные критерии [7; 8]. Ранее разработана новая концепция прогноза лесных пожаров от гроз и вероятностный критерий оценки лесной пожарной опасности, обусловленной грозовой активностью [9]. Вероятность зажигания рассчитывается на детерминированных математических моделях. Например, зажигание хвойного дерева в упрощенной постановке описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями [10].

Область исследования представлена Тимирязевским лесничеством Томской области. Эта территория — достаточно типичный регион Томской области и бореальной зоны лесов [11]. Разработан прототип геоинформационной системы прогноза лесной пожарной опасности из-за сфокусированого солнечного излучения [12]. ГИС-система построена по гибридному принципу и включает программные инструменты, которые реализуют как детерминированные математические модели зажигания лесного горючего материала сфокусированным солнечным излучением [13], так и вероятностные критерии [14].

В настоящем исследовании выполнено концептуальное проектирование новых программных инструментов для расширения функционала ГИС-системы с целью учета фактора грозовой активности. Программные инструменты разрабатываются на диалекте языка программирования высокого уровня Python.

Структура разрабатываемой геоинформационной системы представляет собой обобщенную геоинформационную модель Тимирязевского лесничества, базирующаяся на единой базе данных, в которой систематизированы и структурированы все данные об объектах, единой топографической основе и единых методах обработки и представления данных и включающая следующие подсистемы: 1) ввод и хранение информации: база геоданных (БГД): объекты наблюдений, данные исследований, базовые и тематические наборы пространственных данных (классы пространенных объектов, наборы растровых данных), фондовые и литературные данные; 2) подсистема визуализации и редактирования; ГИС-проекты, созданные в ArcMap на основе сформированной базы геоданных; базовые и тематические карты; 3) подсистема анализа: системные и авторские инструменты для автоматического расчета и представления данных

Геоинформационная система предназначена для оценки уровня лесной пожарной опасности из-за грозовой активности, включающей методику классификации лесных массивов по их характеристикам (данные наземной таксации, данные сети пеленгации грозовых разрядов WWLLN) и визуализация, полученной информации.

В перечень основных задач, решаемых данной ГИС, входят: определение пожарной опасности выдела; количественная оценка лесной пожарной опасности квартала из-за грозовой активности; классификация лесных массивов

по уровню пожарной опасности в условиях воздействия наземного грозового разряда; создание тематических карт по уровням лесной пожарной опасности квартала.

Для функционирования ГИС необходимы: предустановленная программа ArcGIS версии 10 и выше, операционная система Microsoft Windows 7/8/10.

Для написания программ на языке Python будет использована библиотека ArcPy, включающая функции и классы для работы с данными ГИС. Функции используются для создания списков определенных наборов данных, получения свойств наборов данных, проверки их наличия, имен таблиц перед добавлением их в базу геоданных и других задач.

Ниже дается описание проектируемого программного инструмента. Для моделирования зажигания хвойного дерева учитываются тип, радиус ствола, теплофизические характеристики дерева и вольт-амперные характеристики грозового разряда (данных сети WWLLN).

Основные функции программного продукта: обращение к входным данным; создание полей; пересчет значений; метод конечных разностей; метод прогонки; CalculateField — вычисление значения поля; инициализация списков; запись выходных данных.

Для моделирования зажигания лиственного дерева учитываются те же характеристики, что и для хвойного, и реализованы те же функции. Программный продукт рассчитывает вероятность зажигания дерева с использованием генератора случайных чисел для задания диапазона параметров типичного дерева и решает задачу оценки пожароопасных свойств дерева. Применяемые методы: метод конечных разностей; функция генератора случайных чисел; метод прогонки; CalculateField — вычисление значения поля.

Еще один программный продукт вычисляет вероятности пожароопасности лесного квартала на основе информации о составе выделов, статистической информации о пожарах, обусловленных грозовой активностью, данных сети WWLLN и отображает информацию на карте. При этом учитываются следующие события: возникновение лесного пожара по лесорастительным условиям, благоприятные погодные условия, прохождение грозового фронта над контролируемой территорией, наземный грозовой разряд и возникновение лесного пожара из-за грозовой активности. Исходный язык — Python, расширяющий функциональные возможности ArcGIS.

Системные программные средства должны быть представлены операционной системой Windows 7/8/10. Необходима также программа ArcGIS версии 10 и выше.

Программный продукт импортирует данные из таблицы Excel в автономную таблицу базы геоданных, определяет пожарную опасность выдела по лесотаксационным описаниям, оценивает вероятность пожарной опасности лесного квартала по лесотаксационным описаниям, импортирует статистические данные о грозовой активности в базу геоданных, импортирует и пересчитывает данные сети WWLLN, оценивает вероятность пожарной опасности из-за грозовой активности.

Программный продукт использует функции: AddField — добавить поле; CalculateField — вычисление значения поля, определение пожарной опасности выдела, оценка вероятности лесной пожарной опасности квартала, уровня; Statistics_analysis — суммарная статистика, подсчитывает общее количество выделов в каждом квартале и количество пожароопасных; JoinField — соединение полей двух таблиц по ключевому полю.

Данные глобальной сети пеленгации гроз доступны на узле WWLLN, расположенном в Горно-Алтайском государственном университете [15]. Предполагается организовать интерактивное взаимодействие ГИС-системы и программного обеспечения на узле WWLLN для их интеграции и доступа к данным по энергетике наземных грозовых разрядов [16].

В результате настоящего исследования спроектированы программные инструменты для расчета условий и характеристик зажигания деревьев наземным грозовым разрядом и оценки вероятности возникновения лесного пожара.

Для развертывания ГИС-системы использован специализированный ПК с высокопроизводительным четырехядерным процессором и графическим ускорителем NVidia GeForce, построенным на многоядерной архитектуре и поддерживающим систему параллельного программирования CUDA. Задача теории прогностического моделирования лесной пожарной опасности решена методами параллельного программирования в модели SPMD (параллельность по данным). Показана перспективность использования параллельной обработки данных для целей прогноза лесной пожарной опасности [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Томской области. Грант 16-41-700831.

Список литературы

1. *Baranovskiy N.V., Kuznetsov G.V.* Forest fire occurrences and ecological impact prediction: monograph. Novosibirsk : Publishing House of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 2017.

2. *Девисилов В.А.* Русский лес просит пощады и защиты! // Безопасность в техносфере. 2010. № 6. С. 3—7.

3. *Валендик Э.Н., Бычков В.А., Кисельков Е.К. и др.* Лесные пожары в припоселковых борах // Лесное хозяйство. 2002. № 2. С. 46—48.

4. *Гришин А.М., Фильков А.И.* Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово : Практика, 2005.

5. *Manzello S.L., Cleary T.G., Shields J.R. et al.* Ignition of mulch and grasses by firebrands in wildland-urban interface fires // International Journal of Wildland Fire. 2006. Vol. 15. P. 427—431.

6. *Baranovskiy N.V., Kuznetsov G.V., Nemova T.N.* High temperature wood particles formation caused by the cloud-to-ground lightning discharge through the coniferous tree trunk // Far East Journal of Mathematical Sciences. 2017. Vol. 102, № 5. P. 1033—1044.

7. *Baranovskiy N., Zharikova M.* A web-oriented geoinformation system application for forest fire danger prediction in typical forests of the Ukraine // Thematic Cartography for the Society. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Cham : Springer, 2014. P. 13—22.

8. *Baranovskiy N.V.* Forest fire danger assessment using SPMD-model of computation for massive parallel system // International Review on Modelling and Simulations. 2017. Vol. 10, № 3. P. 193—201.

9. *Baranovskiy N.V., Zharikova M.V. Web-GIS* platform for forest fire danger prediction in Ukraine: Prospects of RS technologies // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2016. Vol. 10001, article 100010Y. 6 P.

10. *Baranovskiy N.V., Kuznetsov G.V.* Coniferous tree ignition by cloud-to-ground lightning discharge using approximation of "ideal" crack in bark // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. Vol. 14, № 1. P. 173—186.

11. *Паневин В.С.* Леса и лесное хозяйство Томской области : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томск. ун-та, 2006.

12. *Baranovskiy N.V., Sherstnyov V.S., Yankovich E.P. et al.* Focused sunlight factor of forest fire danger assessment using Web-GIS and RS technologies // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2016. Vol. 9688, Paper 968823. 6 p.

13. *Baranovskiy N.V.* Mathematical modeling for the forest fuel layer ignition caused by focused solar radiation flux // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2015. Vol. 9680. Paper 96805L. 6 p.

14. *Baranovskiy N.V., Yankovich E.P.* Geoinformation system for prediction of forest fire danger caused by solar radiation using remote sensing data // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2015. Vol. 9640. Paper 96400Z. 6 p.

15. *Baranovskiy N., Krechetova S., Belikova M, et al.* WWLLN data cluster analysis methods for lightning-caused forest fires monitoring // International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2016. Vol. 6. P. 3112—3120.

16. *Rodger C.J., Brundell J.B., Dowden R.L.* Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Postalgorithm upgrade // Ann. Geophys. 2005. Vol. 23. P. 277—290.

А.В. Барзенков[1], С.Б. Румовская[2]

[1,2]БФУ им. И. Канта, [2]Калининградский филиал ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия

e-mail: [1]avbarzenkov@mail.ru, [2]sophiyabr@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОЛЛЕКТИВОВ К СЛОЖНОЙ ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОГО ПАНКРЕАТИТА

Введение

Проблема острого панкреатита — самая сложная в неотложной хирургии органов брюшной полости. Несмотря на достигнутые успехи в совершенствовании диагностики, интенсивной терапии, антибактериальной профилактики, хирургических методов лечения с привлечением возможностей миниинвазивной хирургии, летальность при тяжелом остром панкреатите на протяжении последних десятилетий сохраняется на высоком уровне. Общая летальность при остром панкреатите колеблется от 4,5 до 15 %, а послеоперационная достигает 70 % и выше и не имеет тенденции к снижению [1].

Высокий процент летальности в структуре острого панкреатита, в основном в группе трудоспособного населения мужского пола, определяет высо-

© Барзенков А.В., Румовская С.Б., 2018

кую медико-социальную актуальность проблемы. По заболеваемости среди неотложной патологии органов брюшной полости острый панкреатит занимает устойчиво второе место после острого аппендицита [1].

Объективизация степени тяжести, прогнозирование развития инфекционных осложнений острого панкреатита в целях их ранней профилактики и адекватного лечения имеют большое практическое значение [2]. Врачебные ошибки при диагностике острого панкреатита достигают 26 % [3].

В статье представлены результаты системного анализа сложной задачи диагностики острого панкреатита (СЗДОП) в рамках концепции «Виртуальный консилиум» [4] и проблемно-структурной методологии ГиИС [5].

1. Концептуальная модель процесса диагностики острого панкреатита

Организм человека — сложная биологическая система, состоящая из органов — частей определенной формы и конструкции, имеющих определенную локализацию в организме и функции. Органы связаны между собой и взаимодействуют, образуя системы органов. Нарушение функций системы органов приводит к сбоям работы и жизнедеятельности всего организма.

Поджелудочная железа (ПЖ, рис. 1) — один из немногих органов, относящихся сразу к двум системам — эндокринной и пищеварительной и выполняющий функции внешней (экзокринной) и внутренней (эндокринной) секреции. Эндокринная функция заключается в выработке соответствующих гормонов и регуляции обменных процессов, а экзокринная — в выделении панкреатического сока для полноценного переваривания пищи. Из-за глубокого расположения диагностика патологий ПЖ затруднена.

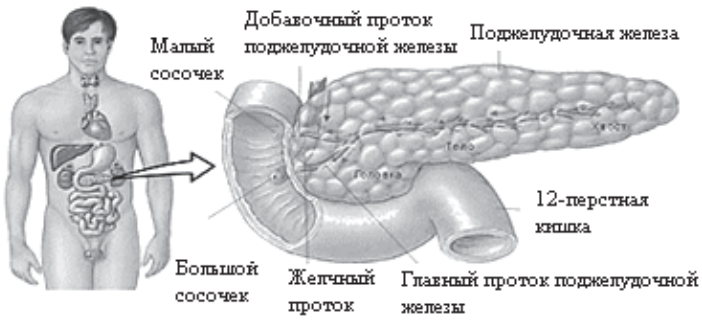


Рис. 1. Расположение и строение поджелудочной железы

В процессе пищеварения по системе желчных протоков панкреатический сок, смешанный с желчью, поступает в 12-перстную кишку, где ферменты активизируются и расщепляют белки, жиры и углеводы. При определенных факторах ферменты активизируются «досрочно» и начинают переваривать саму железу, развивается ее воспаление — острый панкреатит (ОП).

ОП — полиэтиологическое заболевание — результат воздействия различных по своей сущности факторов. В настоящее время выделяется множество этиологических форм острого панкреатита (рис. 2), задача диагностики кото-

рого предполагает не только выявление заболевания, но и определение его формы и стадии, осложнений, а также прогнозирование дальнейшего течения патологического процесса [6].

Рис. 2. Этиологические формы острого панкреатита

Нелегко предсказать последующее развитие ОП, потому что часто у пациентов с практически одинаковыми исходными условиями клинический ход заболевания может варьироваться.

В диагностике острого панкреатита (рис. 3) в зависимости от степени тяжести и наличия осложнений могут принимать участие 11 и более специалистов:

терапевт, хирург, кардиолог, гастроэнтеролог, эндокринолог, невролог, онколог, реаниматолог, анестезиолог, эндоскопист, врач ультразвуковой диагностики и др. Обследование пациентов включает: 1) сбор анамнеза; 2) физикальное исследование (осмотр, пальпация и др.); 3) лабораторная диагностика; 4) в зависимости от диагностической ситуации могут использоваться ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости и забрюшинного пространства, компьютерная томография (КТ), инструментальная диагностика, хирургическая диагностика, электрокардиография (ЭКГ) и др. В процессе обследования пациента различными методами врачи оперируют качественной, количественной, графической информацией, характеризующейся неточностью, нечеткостью, неполнотой.

Рис. 3. Концептуальная модель процесса диагностики острого панкреатита

Диагностика осложнений проводится одновременно с диагностикой основного заболевания соответствующими специалистами. Согласно [7] процесс диагностики острого панкреатита состоит из следующих основных этапов: 1) дифференциальная диагностика; 2) объективизация степени тяжести и прогнозирование течения; 3) диагностика осложнений.

Второй этап включает: определение по клиническим данным легкой и/или средней (отечная форма заболевания) и тяжелой (панкреонекроз) степени; оценка параметров физиологического состояния больного ОП; установление масштаба и характера поражения ПЖ, забрюшинного пространства и брюшной полости при диагностике панкреонекроза на основе результатов лапароскопии, динамики УЗИ и КТ с контрастированием.

На этапе дифференциальной диагностики острый панкреатит дифференцируется от других заболеваний органов брюшной полости, требующих неотложного оперативного вмешательства, а также от инфаркта миокарда, тромбоза мезентериальных сосудов и др.

Практический смысл объективной оценки тяжести и прогнозирования течения заболевания заключается в раннем выделении больных тяжелым ОП с высоким риском развития системных и местных осложнений, остро нуждающихся в специализированной интенсивной терапии. В настоящее время решающая роль в комплексном обследовании при данной патологии отведена инструментальным методам. Между тем визуализация и правильная трактовка морфологических изменений при ОП по результатам современных исследований (УЗИ, лапароскопия, КТ) возможны на 5—7-е сутки от начала заболевания, когда патологический процесс приобретает необратимый характер и, вероятно, выходит за пределы ПЖ. В эти сроки возможна только констатация тяжести заболевания, а не прогнозирование его течения и утрачивается возможность ограничения панкреонекроза и «обрыва» некротического панкреатита. В связи вышеизложенным в повседневной клинической практике в настоящее время используется поэтапная оценка тяжести ОП.

Диагностика ОП осложняется дополнительно фактором времени — симптомы развиваются стремительно, а течение сопровождается тотальными патологическими изменениями в поджелудочной железе, ведущими в случае неверного лечения к неблагоприятному исходу (рис. 4).

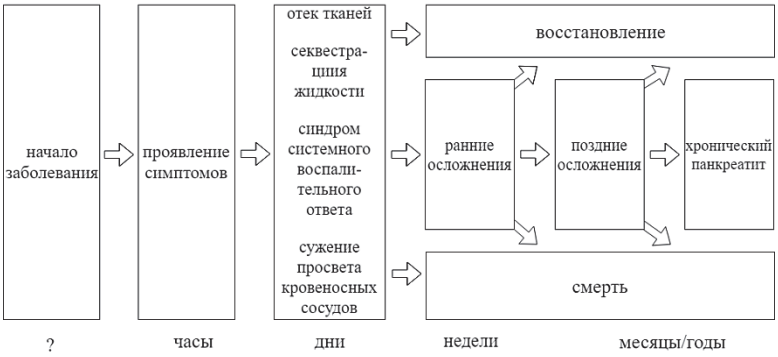


Рис. 4. Концептуальная модель течения острого панкреатита

Таким образом, к особенностям острого панкреатита как гетерогенного заболевания относятся: большое разнообразие проявлений заболевания; схожесть с другими заболеваниями органов брюшной полости; быстрое развитие патологического процесса; высокая частота врачебных ошибок; разнородные наборы данных, необходимые для постановки диагноза на различных этапах диагностического процесса; зависимость методов лечения от формы и стадии заболевания, наличия осложнений.

2. Поддержка принятия решений в процессе диагностики острого панкреатита

Исследование подходов к моделированию процесса диагностики острого панкреатита показало превалирование гомогенного подхода в рамках методологии искусственных нейронных сетей (ИНС). В [8—11] используются различные типы ИНС и входной информации. В подобных системах поддержки принятия решений (СППР) достигаются достаточно высокие показатели точности определения диагноза, однако анализ и интерпретация консультативной информации затруднены. Кроме того, в ряде СППР на базе ИНС выделяют [12] недостатки: 1) результаты оцениваются ретроспективно, что может привести к смещениям в них; 2) данные получаются в больницах различного уровня, что ставит под сомнение вопрос воспроизводимости методики на основе данных других клиник; 3) обучение и тестирование зачастую проводится на одних и тех же выборках пациентов.

Поэтому, например, в медицинской системе «Pancreatit» [13] для прогнозирования вероятности развития осложнений ОП применяются статистические модели. По результатам исследования в тестовой выборке совпадение реального результата с прогнозируемым наблюдалось у 71,43 %. Однако обнаруженные в данной системе корреляционные зависимости не дают оснований утверждать, что значения переменных для выявления осложнений, предшествуют или — причина осложнений. Кроме того, они не устанавливают взаимосвязь причин и не исключают действие дополнительных факторов.

Исследование проблемной среды показало, что рассмотрение и моделирование процесса диагностики подобных сложных гетерогенных заболеваний требуют применения междисциплинарного подхода, в частности методологий релевантных разнообразию диагностической информации и относительности знаний, сочетающих системный анализ диагностической проблемы с синтезом метода ее решения и представления информации.

3. Диагностика острого панкреатита в рамках модели «Виртуальный консилиум», расширенной элементами когнитивной компьютерной графики

В настоящее время активно развиваются такие искусственные гетерогенные системы (ИГС), как: многоагентные системы (В.И. Городецкий, В.Б. Тарасов и др.), гибридные и синергетические системы (научные школы: Д.А. Поспелова — В.Б. Тарасова; В.Н. Вагина — А.П. Еремеева; Г.В. Рыбиной; Н.Г. Ярушкиной; В.Ф. Пономарева — А. В. Колесникова).

ИГС интегрируют разнородные знания экспертов и способны имитировать как отдельные линии рассуждений, так и комбинирование частных мнений в общее решение. Модели рассуждений экспертов, обрабатывающие разнородную информацию (результатов клинических и функциональных исследований и др.) о состоянии здоровья пациента для постановки релевантного диагноза, комбинируются в ИГС. Кроме того, анализ преимуществ методов когнитивной компьютерной графики (ККГ) в диагностическом процессе [4] показывает, что визуализация снижает информационную и когнитивную нагрузки на врача, диагностирующего пациента, позволяет выявлять и воспринимать значимые связи и показатели быстрее [14].

В связи с вышеизложенным видится актуальным повышение качества индивидуальных диагностических решений, в том числе относительно острого панкреатита, посредством комбинирования различных методов ИИ в виртуальном консилиуме [15], дополненном элементами ККГ (рис. 5) — виртуальный консилиум с элементами когнитивной компьютерной графики (ВККГ).

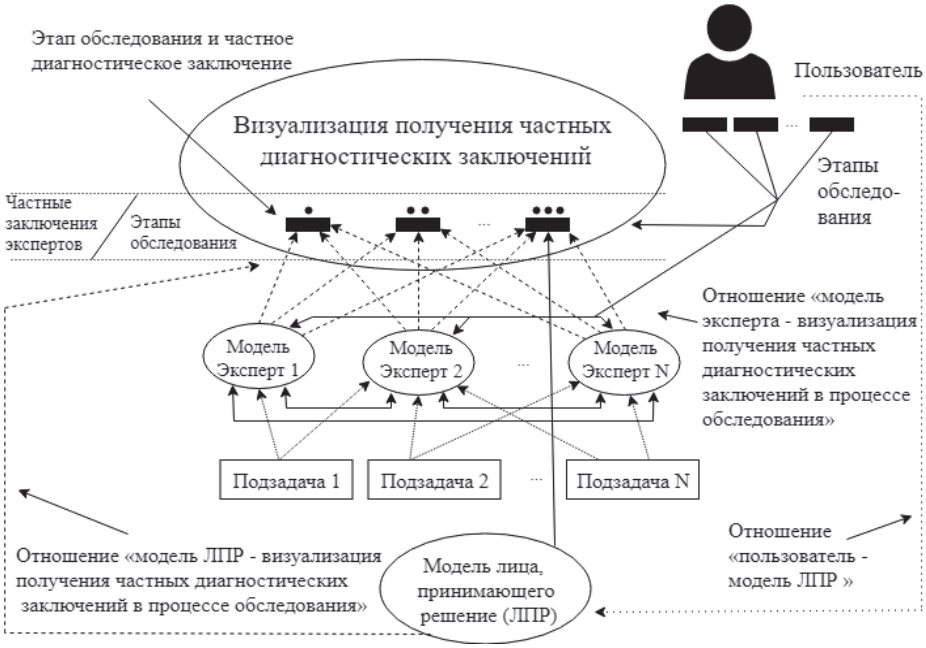


Рис. 5. Концептуальная модель ВККГ

Пользователь — лицо, принимающее решение (ЛПР), вводит данные в консилиум на каждом этапе обследования, когда появляются новые сведения в ходе диагностического процесса. Модели экспертов, формирующих частные диагностические решения, разрабатываются методами ИИ. В ходе диагностического процесса частные диагностические заключения визуализируются. ЛПР-пользователь (врач) может просматривать изменения визуализа-

ций на различных этапах процесса и при необходимости корректировать ход диагностики посредством «модели ЛПР» (отношение «модель ЛПР — визуализация получения частных диагностических заключений в процессе обследования»). Визуализация получения частных диагностических заключений в процессе обследования упрощает выявление причинно-следственных связей и принятие решений ЛПР.

Таким образом, СЗДОП можно редуцировать в декомпозицию (рис. 6).

Диагностические подзадачи представляются переменными одного класса: детерминированными, лингвистическими или лингвистическими нечеткими, а решаются одним методом ИИ.

Подзадача визуализации получения частных диагностических заключений включает когнитивный образ объекта (пациента), а именно: изменение множества значений показателей здоровья в процессе обследования.

Рис. 6. Декомпозиция сложной задачи диагностики острого панкреатита

Ограничения, накладываемые на декомпозицию и концептуальную модель консилиума с ККГ, будут определены в рамках дальнейшего исследования.

Заключение

Исследование [15] подтвердило, что применение виртуального консилиума существенно повысит качество индивидуальных диагностических решений. Параллельно визуализация обеспечивает снижение информационной и когнитивной нагрузки на ЛПР, диагностирующее объект, и повышает скорость восприятия и обработки информации в сравнении с ее текстовым или табличным видом. Интеграция идей виртуального консилиума и ККГ обеспечит повышение качества диагностики острого панкреатита.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Гусейнов А. З., Карапыш Д. В.* Острый панкреатит как медикосоциальная проблема в структуре ургентной абдоминальной хирургической патологии // ВНМТ. 2010. № 3. С. 198—199.

2. *Литвин А. А.* Инфицированный панкреонекроз. М. : Интеграция, 2011.

3. *Масляков В. В.* Оптимизация диагностики острого панкреатита с использованием трансрезонансного функционального топографа // Лечащий врач. 2016. № 8. С. 33—36.

4. *Барзенков А. В., Румовская С. Б.* Планирование диагностического процесса в рамках концепции «виртуальный консилиум» // Седьмая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ — 2017 (13—18 июня 2017 г., г. Светлогорск, Россия) : труды конференции. М. : ФИЦ ИУ РАН, 2017. С. 204—211.

5. *Колесников А. В., Кириков И. А.* Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.

6. *Шевляева М. А.* Трудности ранней дифференциальной диагностики острого панкреатита // Кубанский научный медицинский вестник. 2013. № 3. С.141—144.

7. Диагностика и лечение острого панкреатита (Российские клинические рекомендации). URL: http://общество-хирургов.рф/stranica-pravlenija/unkr/urgentnaja-abdominalnaja-hirurgija/nacionalnye-klinicheskie-rekomendaci-po-ostromu-pankreatitu.html.

8. *Mofidi R.* Identification of severe acute pancreatitis using an artificial neural network // Surgery. 2007 Jan. Vol. 141(1). P. 59—66.

9. *Andersson B.* Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks // Pancreatolqgy. 2011. Vol. 11(3). P. 328—335.

10. *Миронов П. И. и др.* Прогнозирование течения и исходов тяжелого острого панкреатита // Фундаментальные исследования. 2011. № 10. С. 319—323.

11. *Винник Ю. С., Петрушко С. И., Якимов С. В.* Прогнозирование течения и исхода острого панкреатита с помощью нейронных сетей // Материалы IX Всерос. съезда хирургов. Волгоград, 2000. С.23—24.

12. *Литвин А. А., Реброва О. Ю.* Системы поддержки принятия решений в диагностике и лечении острого панкреатита // Проблемы здоровья и экологии. 2016. № 2(48). С.10—17.

13. *Бельский И.И.* Роль внутрибрюшного давления в диагностике и лечении острого панкреатита : дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2016. 162 с.

14. *Афанасьев А.А.* Алгоритм определения формата представления информации как инструмент преодоления информационных перегрузок в процессе принятия решений. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-opredeleniya-formata-predstavleniya-informatsii-kak-instrument-preodoleniya-informatsionnyh-peregruzok-v-protsesse

15. *Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В., Румовская С.Б.* «Виртуальный консилиум» — инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10, № 3. С. 81—90.

И.А. Бенько[1], А.В. Колесников[2], А.А. Литвин[3], С.Б. Румовская[4]

[1,2,3,4] БФУ им. И.Канта, [2,4]КФ ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия

e-mail: [1]igor.benko.1991@gmail.com, [2]avkolesnikov@yandex.ru, [3]aalitvin@gmail.com, [4]sophiyabr@gmail.com

ГИБРИДНАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ (НА ПРИМЕРЕ РАКА И ПАНКРЕАТИТА)

Введение

В развитых странах рак поджелудочной железы (ПЖ) доминирует в заболеваемости и смертности (4—5 место) среди онкологических заболеваний органов пищеварения [1]. Возможности современной медицины позволяют предотвратить развитие серьезных болезней и обнаружить новообразования на ранних стадиях развития опухолевого процесса. Это стало реальностью благодаря созданию установок, воздействующих на организм пациента излучением (компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ)). Результат процедуры — детальные снимки с информацией для постановки врачом верного диагноза и назначения своевременного лечения.

Однако не всегда врачу-рентгенологу под силу визуально найти на КТ- или МРТ-изображении признаки болезни, особенно если симптоматика болезней схожа, например рака ПЖ и панкреатита. Помимо КТ-изображений, врач также анализирует клинические показатели пациента — результаты сбора анамнеза, физикального обследования и т. д. Следует подчеркнуть, что каждого из этих отдельно выполненных исследований может быть недостаточно для постановки правильного диагноза. Своевременно диагностировать заболевание ПЖ и определить показания к оперативному лечению позволяет комплексная оценка разнородных данных — КТ-изображений и клинических показателей.

Как и любой другой диагностический метод, основанный на анализе косвенных данных, КТ дает результаты только частично достоверные, с ошибками из-за низкого качества полученных изображений и неправильной расшифровки результатов. Чувствительность КТ в диагностике опухолей поджелудочной железы превышает 80%. Однако у 5—15% больных с подтвержденным диагнозом рака ПЖ на КТ обнаруживают лишь диффузное увеличение органа, более характерное для панкреатита.

© Бенько И.А., Колесников А.В., Литвин А.А., Румовская С.Б., 2018

Настоящая статья посвящена системному анализу проблемной среды дифференциальной диагностики заболеваний поджелудочной железы (на примере рака и панкреатита) в рамках проблемно-структурной технологии ГиИС [2] и определению направлений будущего исследования.

1. Гибридный подход к проблеме дифференциальной диагностики

Поджелудочная железа (рис. 1) — важный орган, вырабатывающий необходимый для пищеварения панкреатический сок, а также принимающий участие в "производстве" гормонов, в том числе инсулина [3]. Как и любой другой орган в организме человека, ПЖ подвержена заболеваниям, например хроническому панкреатиту (ХП) и раку.

Рак поджелудочной железы — злокачественное образование, формирующееся из клеток поджелудочной железы, а точнее, из ее протоков или железистой ткани. Этот вид рака занимает десятое место в мире по распространенности злокачественных опухолей и четвертое среди причин смертности. Такие показатели связывают с длительным бессимптомным течением и поздней диагностикой патологии, поэтому заболевание — серьезная проблема клинической медицины. Диагностика и лечение рака ПЖ — одна из сложных проблем онкологии. По сводным данным зарубежных и отечественных авторов, рак ПЖ у 85—90 % пациентов выявляется на терминальной стадии и лишь в 10—15 % случаев возможна радикальная операция [1].

Рис. 1. Поджелудочная железа

Прогноз рака поджелудочной железы неблагоприятен, ведь более 85 % пациентов погибают в течение года после постановки диагноза. Согласно статистике, только 25 % больных будут живы на первом году после диагностирования вне зависимости от стадии патологии. При этом не больше 6 % проживут 5 лет, но если рак обнаружить на ранних этапах и провести операцию, то этот показатель вырастет до 22 %.

Использование в клинической практике современных информационных технологий расширяет возможности диагностики, а также прогнозирования течения и исхода различных болезней, в том числе заболеваний поджелудочной железы, поскольку становится возможным быстрый анализ относительно больших по составу и числу групп параметров заболевания [4].

Наибольшую практическую значимость в медицине среди методов прогнозирования и интерпретации диагностических исследований имеют искусственные нейронные сети (ИНС) [4], благодаря их способности решать сла-

боструктурированные и плохо формализованные задачи. Примеры использования компьютерного прогнозирования на основе технологии ИНС в медицине нельзя назвать единичными [5]. Так, в [6] описано применение ИНС и нечеткой логики для диагностики рака ПЖ на основе клинических данных.

Также есть примеры использования ИНС для диагностики и прогнозирования течения другого опасного заболевания поджелудочной железы — панкреатита. Например, в [7] проведено исследование, цель которого — разработка и проверка эффективности модели ИНС для раннего прогнозирования тяжести острого панкреатита. Из 23 потенциальных показателей тяжести ОП авторы с помощью ИНС отобрали шесть наиболее информативных критериев.

В [5] разработана система для оценки вероятности осложненного течения тяжелого острого панкреатита, которая продемонстрировала высокие прогностические результаты на основе набора информативных клинико-лабораторных критериев. Система включает в себя два нейросетевых блока: первый прогнозирует осложненное течение острого панкреатита в течение первых 24 часов с момента госпитализации; второй рассчитывает вероятность развития осложнений. Посредством генетического алгоритма были отобраны 14 информативных входных параметров. В работе [5] изучены возможности статистических подходов на основе ИНС в раннем прогнозировании развития сепсиса у больных тяжелым острым панкреатитом. Вероятность правильной диагностики сепсиса для трехслойной ИНС составила 83,8 %.

Недостатки адаптивных методов: 1) размер выборки большинства исследований недостаточен для проведения обучения и тестирования ИНС; 2) входные параметры — только количественные симптомы.

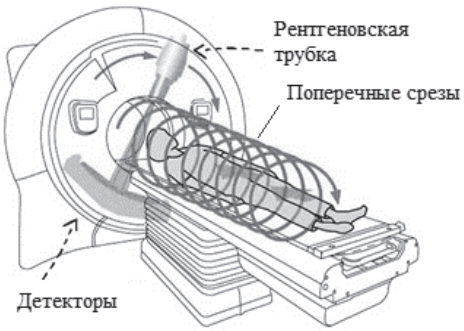


Рис. 2. Принцип работы компьютерной томографии

Среди визуальных методов дифференциальной диагностики ХП и рака ПЖ доминирует компьютерная томография (рис. 2).

КТ основана на рентгеновском излучении для эффективной диагностики сканированием исследуемого участка и послойного изображения той или иной части тела. Специальный прибор осуществляет съемку тела больного под разными углами. Полученные срезы преобразуются программой в единое изображение. Четкость и детализация изображения зависит от степени поглощения тканями рентгеновских лучей.

В дифференциальную диагностику, как правило, вовлечен врач-рентгенолог, терапевт и эндокринолог (рис. 3). Они анализируют возможные показатели пациента — клинические данные, КТ-изображений и принимают решение об окончательном диагнозе.

Рис. 3. Схема процесса дифференциальной диагностики заболеваний ПЖ

Этапы обработки клинических данных: формирование множества клинических данных пациента — результаты анализа крови, история болезни и т. д.; анализ клинических данных врачом (терапевтом или эндокринологом) с постановкой предварительного диагноза о наличии или отсутствии заболевания (рак, панкреатит или нормальное состояние поджелудочной железы).

Этапы обработки визуальных образов (КТ-изображений): пациент проходит через процедуру компьютерной томографии, в результате которой получаются КТ-изображения брюшной полости; на полученных КТ-изображениях, врач-рентгенолог локализует область расположения поджелудочной железы. Возможны два варианта: 1) автоматизация сегментации поджелудочной железы, если соответствующие программы есть в компьютерном томографе; 2) “ручная” сегментация ПЖ; изображения поджелудочной железы анализируются врачом-рентгенологом с постановкой предварительного диагноза. Поскольку визуальные образы наиболее информативны, первый этап работы — исследование семантической сегментации поджелудочной железы.

2. Методы семантической сегментации медицинских изображений

Анализ визуальных образов, в том числе КТ-изображений, как с помощью классических многослойных нейронных сетей, так и иных видов машинного обучения затруднен [8]: имея изображение расширения $N \times N$, необходимо трансформировать матрицу в одномерный вектор для подачи его на вход ИНС (рис. 4). Это приводит к потере важной структуры изображения и снижает качество классификации.

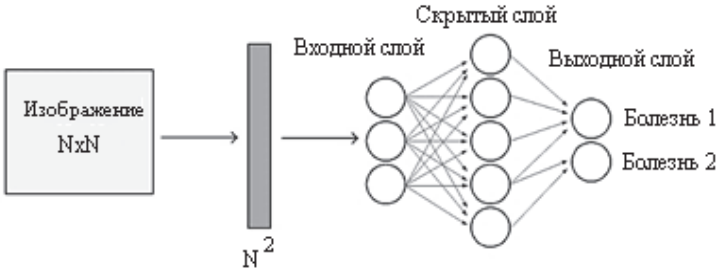


Рис. 4. Преобразование входного изображения в вектор

Сегментация изображений — ключевой шаг в понимании смысла изображения, который направлен на разделение объектов внутри изображения на классы, на основе характеристик объекта и предварительной информации об окрестности. Сегментация органов брюшной полости, таких как селезенка, печень и поджелудочная железа, — важный компонент в автоматизированной диагностике. Сегментация поджелудочной железы — необходимый этап обнаружения рака ПЖ. Однако высокая точность ее автоматической сегментации остается проблемой.

Существуют два успешно применяемых метода семантической сегментации медицинских изображений, а также их анализа и классификации: сверхточные нейронные сети [9—11] и сопоставление с атласом [12—14].

Атлас представляет собой набор из двух изображений органа, одно из которых — изображение КТ/МРТ (шаблон), а второе хранит в каждом вокселе (определение вокселя) [12] значение метки соответствующей анатомической структуры (разметка). При наличии атласа задача сегментации сводится к задаче сопоставления изображения КТ/МРТ из атласа и входного изображения, которое необходимо разметить. К изображению из атласа применяется преобразование, которое делает его максимально похожим на входное изображение. Обычно регистрация идет в два этапа: 1) сначала применяется линейное преобразование, глобальное и быстро компенсирующее основные различия в местоположении и масштабе; 2) затем — локальное преобразование, чтобы более точно сопоставить анатомические структуры. После того как изображение из атласа полностью сопоставлено с входным изображением, можно перенести преобразованную таким же образом разметку из атласа на входное изображение для получения его сегментации на анатомические структуры.

В работах [13; 14] показано, что использование более одного атласа повышает точность автоматической анатомической разметки. В этом случае несколько атласов сопоставляются с входным изображением и производится слияние их разметок для получения разметки входного изображения.

В силу того что ПЖ — сильно анатомически изменчивый орган по форме, размеру и местоположению в брюшной полости, граничный контраст которого может сильно варьироваться, применение сопоставления с атласом — затруднительно.

Другой метод семантической сегментации — применение сверточных нейронных сетей. Например, U-net — сверточная сетевая архитектура для быстрой и точной сегментации изображений (рис. 5).

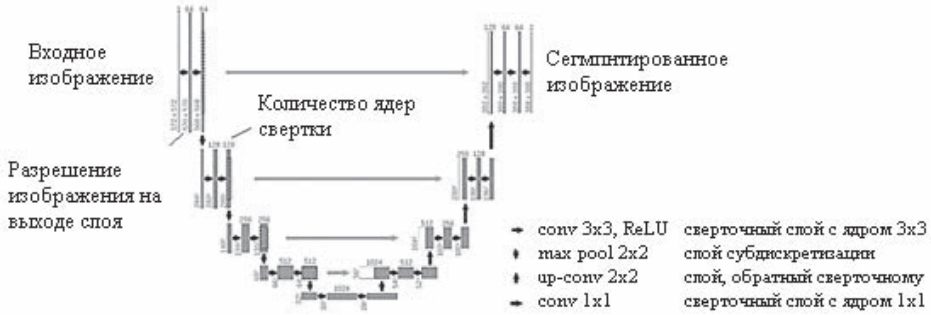


Рис. 5. Архитектура нейронной сети U-net

Архитектура сети представляет собой последовательность слоев свертки и пуллинга, которые сначала уменьшают пространственное разрешение картинки, а потом увеличивают его, предварительно объединив с данными картинки и пропустив через другие слои свертки. Таким образом, сеть выполняет роль своеобразного фильтра.

Типичное использование сверточных сетей относится к задачам классификации, где вывод изображения — метка одного класса. Однако в нашем случае при обработке биомедицинских изображений желаемый результат должен включать локализацию, то есть метка класса должна назначаться каждому пикселю.

Принято считать, что для успешного обучения глубоких сетей необходимо иметь большое количество размеченных учебных образцов. В настоящей статье применяется стратегия искусственного расширения обучающей выборки — применение поворотов, сдвигов, изменение масштаба — для эффективного использования доступных размеченных данных.

3. Реализация сегментации поджелудочной железы методом сверточных нейронных сетей

Для моделирования используется библиотека Keras — открытая нейросетевая библиотека, написанная на языке Python. Она представляет собой надстройку над TensorFlow и нацелена на оперативную работу с сетями глубинного обучения. Для предварительной обработки изображения применяется библиотека OpenCV.

Для обучения сети считается коэффициент Дайса (Dice coefficient), который показывает меру площади правильно отмеченных сегментов (отношение площади пересечения к площади объединения). На вход сверточной сети подается КТ-изображение (рис. 6, *а*) и маска, на которой единицей (белый цвет на рис. 6, *б*) залита область изображения с поджелудочной железой, а остальное залито нулем (черный цвет на рис. 6, *б*).

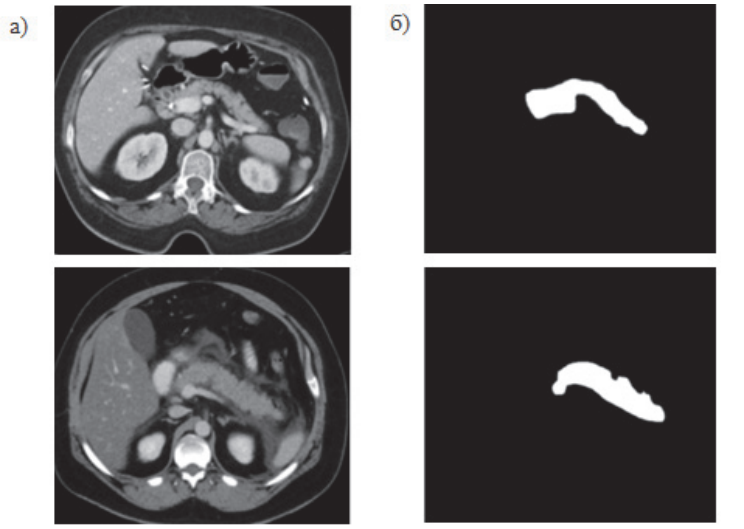


Рис. 6. Исходное изображение (вход нейронной сети) и маска (выход нейронной сети)

На начальном этапе исследований для обучения сети использовались КТ-изображения 50 пациентов — по каждому из них были отобраны срезы, на которых изображена поджелудочная железа. После этого произведена ручная сегментация и подготовка изображений-масок для обучения.

В процессе обучения проведено 10 эпох, после которых коэффициент Дайса составил 82 %. Далее работа сети проверена на тестовой выборке, где на каждое входное изображение сеть выдает такого же размера маску, на которой закрашивает те пиксели, где, по ее мнению, есть поджелудочная железа (рис. 7).

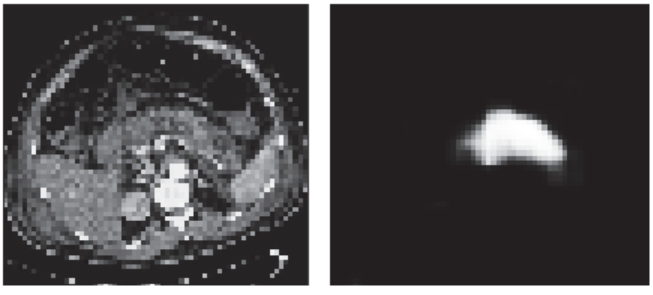


Рис. 7. Вход и выход обученной нейронной сети

Полученную на выходе сети маску достаточно наложить на исходное изображение и получить область, где расположена поджелудочная железа, и

далее анализировать это изображение. В системе предусматривается второй вариант работы — ручная сегментация поджелудочной железы в случае, если нейронная сеть некорректно распознала ее на исходном КТ-изображении.

Таким образом, в дальнейшем предлагается совместить в исследовании два подхода к постановке диагноза — анализ визуальных образов (КТ-изображения пациента) и анализ клинических показателей пациента (в данной работе не рассматривается) — в функциональной гибридной интеллектуальной системе, включающей модель, интегрирующую два предварительных диагноза с заключительными пояснениями.

Заключение

Медицинские изображения, как и любые иные визуальные образы, несут большое количество информации, помогающей верно и своевременно поставить диагноз. Их обработка человеком осложняется дефектами получаемого изображения, обусловленными как физическими ограничениями оборудования, так и допустимыми пределами нагрузки на организм человека. Поэтому актуальна разработка систем обработки и анализа изображений для извлечения знаний из зашумленной информации. Применение ИНС позволяет построить обучаемую систему, способную анализировать как медицинские изображения, так и количественные показатели пациента и повысить точность дифференциальной диагностики заболеваний поджелудочной железы.

Реализованная подсистема семантической сегментации дает возможность распознавать на КТ-изображении поджелудочную железу для дальнейшего анализа. Развитие системы подразумевает дальнейшее повышение точности сегментации, а также реализацию остальных модулей по анализу клинических данных и изображения поджелудочной железы с целью повышения качества диагностического решения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Лазебник Л. Б. и др.* Хронический панкреатит и рак поджелудочной железы // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. С. 3—9.

2. *Колесников А. В., Кириков И. А.* Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.

3. КТ и МРТ в диагностике рака поджелудочной железы. URL: https://teleradiologia.ru/кт-мрт-при-раке-поджелудочной-железы.

4. *Жариков О. Г.* Прогнозирование гнойно-септических осложнений тяжелого острого панкреатита // Новости хирургии. 2008. С.117—124.

5. *Литвин А. А., Реброва О. Ю.* Системы поддержки принятия решений в диагностике и лечении острого панкреатита // Проблемы здоровья и экологии. 2016. С. 10—17.

6. *Sanoob M.U, Anand Madhu , Ajesh K.R.* Artificial neural network for diagnosis of pancreatic cancer // International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI). 2016. Vol. 5(2). P.41—49.

7. *Andersson B.* Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks // Pancreatology. 2011. Vol. 11(3). P. 328—335.

8. *Бурхонов Р.А., Клименко С.В.* Применение методов глубокого обучения в задаче распознавания медицинских изображений // Труды международной научной конференции. 2017. С. 163—165.

9. CS231n: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. URL: http://cs231n.stanford.edu/.

10. *Михалевич Ю.С., Ткаченко В.В.* Использование сверточных нейронных сетей для распознавания автомобильных номеров. Преимущества и недостатки по сравнению с шаблонным методом // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №120. С. 1706—1715.

11. *Ben Driss S., etc.* A comparison study between MLP and Convolutional Neural Network models for character recognition // ESIEE Paris, IGM, A3SI, 2 Bd Blaise Pascal, BP 99, 93162 Noisy-Le-Grand, France.

12. *Зубов А.Ю., Сенюкова О.В.* Сегментация изображений магнитно-резонансной томографии головного мозга с помощью сопоставления с несколькими атласами // Юбилейная 25-я Международная конференция (graphicon2015). 2015. С. 56—61.

13. *Aljabar P., Heckemann R.A., Hammers A.* Multi-atlas based segmentation of brain images: atlas selection and its effect on accuracy // Neuroimage. 2009. Vol. 46, №3. P. 726—738.

14. *Wu M., Rosano C., Lopez-Garcia P.* Optimum template selection for atlas-based segmentation // Neuroimage. 2007. Vol. 34, №4. P. 1612—1618.

Г.Б. Бурдо[1], А.Ю. Сорокин[2], О.В. Стоянова[3]

[1,2]Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

[3]Санкт-Петербургский технический университет, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: [1]gbtms@yandex.ru

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ГИБРИДНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НАУКОЕМКИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Введение

Обеспечение надлежащего качества наукоемкой машиностроительной продукции напрямую связано с ее конкурентоспособностью. Этот факт предопределяет и делает правомочным постановку вопроса создания методологических основ построения автоматизированных систем управления качеством продукции. Данная задача приобретает особую важность при выпуске первых образцов изделий.

В работах [1; 2] были рассмотрены основополагающие моменты создания автоматизированных систем управления качеством наукоемкой машиностроительной продукции (АСУКП). Тем не менее открытым остался вопрос о методике работы с автоматизированной системой и о самой процедуре оценке качества продукции.

© Бурдо Г.Б., Сорокин А.Ю., Стоянова О.В., 2018

1. Методика работы с автоматизированной системой

Автоматизированная система реализуется как гибридная система поддержки принятия решений, т. е. как «советующая» лицу, принимающему решение (ЛПР). Таковым, как правило, является руководитель проекта по созданию первого образца наукоемкой машиностроительной продукции (НМП). По его распоряжению, для отдельных этапов ответственным может назначаться кто-либо из состава проектной группы.

Оценка качества проектных решений выполняется последовательно на каждом этапе жизненного цикла наукоемкой продукции с помощью системы частных критериев, производных от технического задания, и учитывающих мировой опыт проектирования подобных изделий.

Частные критерии могут иметь количественный (формализованный) или качественный (неформализованный) виды. С помощью критериев количественного вида оценка может производиться автоматизированной системой.

Для оценки решения критериями качественного вида необходимо привлечение экспертов — работников организации (чаще всего) или со стороны. При этом может быть использован аппарат нечетких множеств.

Автоматизированной системой на каждой стадии этапа жизненного цикла изделия (ЖЦИ) на основе частных критериев с помощью соответствующих моделей синтезируется обобщенный, помогающий ЛПР принять решение о продолжении работ на этапе либо о переходе на следующий (рис. 1).

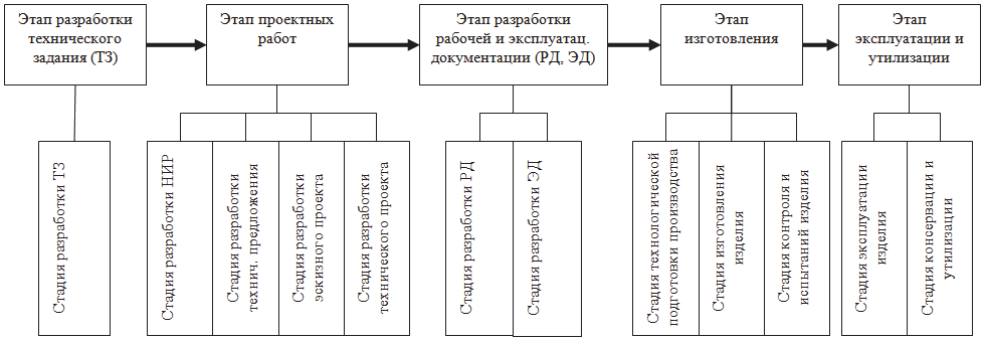


Рис. 1. Основные этапы и стадии ЖЦИ

По завершении работ на всех этапах жизненного цикла дается общая оценка качества проекта и заключение по проекту.

2. Критерии качества продукции

Для управления качеством изделия необходимы данные о состоянии качества продукции на протяжении всего ЖЦИ, критерии оценки качества изделия. Важен рациональный выбор критериев, случайный подбор критериев

может привести к необоснованным решениям. Следует помнить, что каждый критерий служит не только основой оценки, но и базой для выработки управляющих воздействий на проектно-конструкторскую и производственную деятельность. При этом сама структура системы критериев должна носить иерархический характер (рис. 2). При переходе на последующие стадии ЖЦИ критерии должны детализироваться, качественные критерии заменяться количественными.

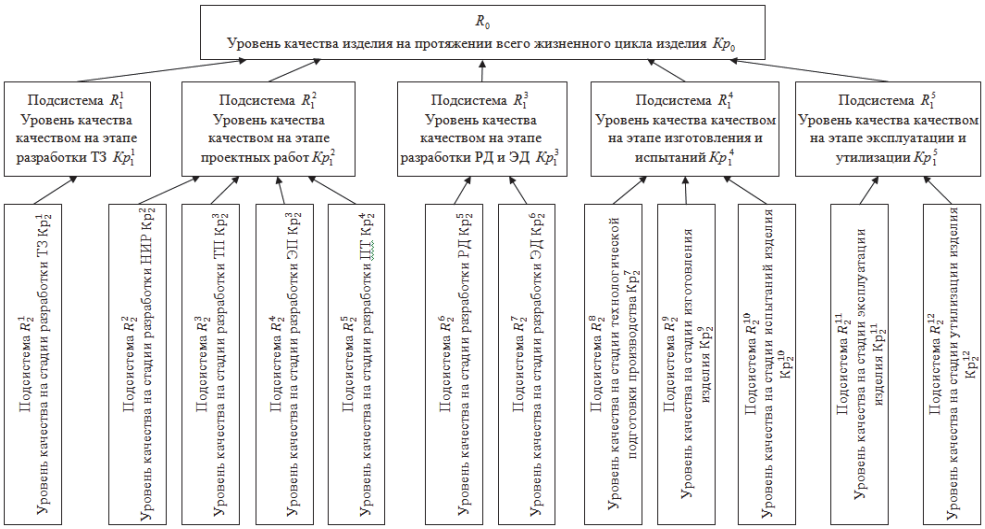


Рис. 2. Иерархическая структура критериев качества изделия

3. Методика принятия решений на основе сетей Петри

В АСУКП качество изделия оценивается на основе количественных и качественных показателей качества и экспертных оценок. Эта информация может быть нечеткой и недостаточно определенной для того, чтобы быть выраженной математическими зависимостями. При этом нечеткая логика и теория нечетких множеств — эффективные подходы в решении данной проблемы. Поэтому для описания правил принятия решений АСУКП эффективно применить продукционные модели знаний, основанных на нечетком выводе [3; 4]. Продукционные модели нашли широкое применение для представления знаний и вывода заключений в экспертных системах, основанных на правилах.

Применяя продукционные модели, можно оценить количественные и качественные показатели качества в комплексе.

На основе системы критериев качества и модели нечеткой сети Петри построена продукционная модель знаний для АСУ КП. Для наглядного представления алгоритма работы продукционной модели на рисунке 3 изображена нечеткая сеть Петри [3].

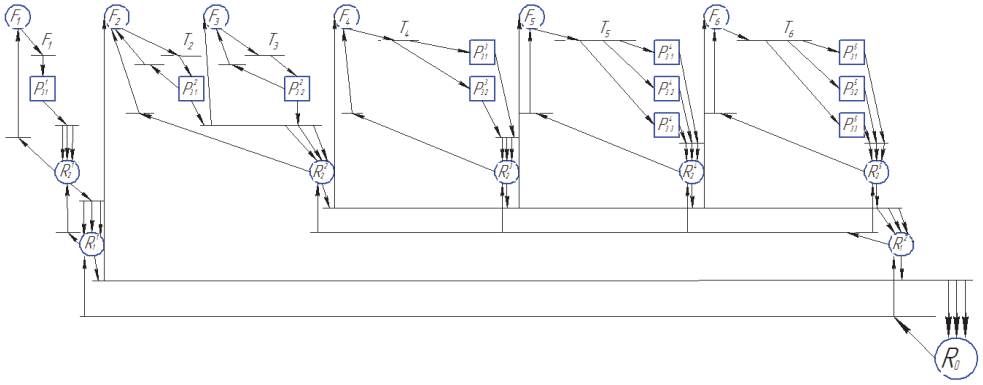


Рис. 3. Нечеткая сеть Петри на этапах разработки ТЗ и проектных работ

Рассмотрим подробно продукционную модель на стадии разработки технического предложения (ТП) — оператор P_{31}^3 (рис. 4).

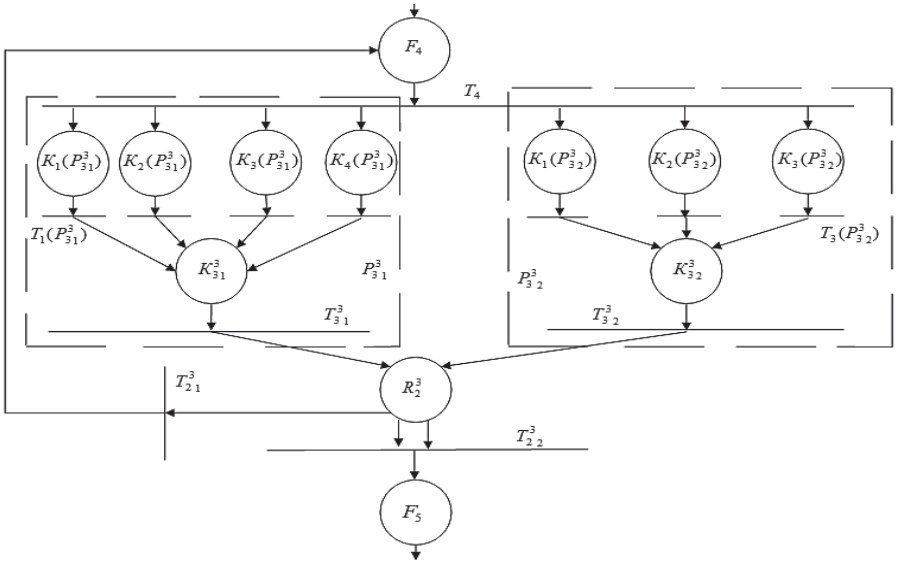


Рис. 4. Нечеткая сеть Петри на стадии разработки технического предложения

Здесь обозначение маркировок сети: $P=\left[F,K,R\right]$ — множество позиций, $T=\left[T_4,T_{31}^3,T_2^3\right]$ — множество переходов; $F_4\in\{0;1\}$ — заявка на разработку технического предложения, а T_4 — процесс его разработки, $Kp_{31}^3=\left[K_1(P_{31}^3),K_2(P_{31}^3),K_3(P_{31}^3),K_4(P_{31}^3)\right]$ — множество критериев оценки качества изделия; каждый критерий комплексно оценивает свою соответствующую группу количественных показателей качества.

Начало работы на данной стадии — подача заявки на разработку технического предложения, т.е. F_4=1. Далее, после срабатывания перехода T_4, производится его количественная оценка соответствующими показателями качества:

Если F_4=1, то $K_1(P_{31}^3)=[0,1]$ и $K_2(P_{31}^3)=[0,1]$ и $K_3(P_{31}^3)=[0,1]$ и $K_4(P_{31}^3)=[0,1]$ и $K_1(P_{32}^3)=[0,1]$ и $K_2(P_{32}^3)=[0,1]$ и $K_3(P_{32}^3)=[0,1]$.

Полученные количественные оценки показателей качества комплексно оценивается соответствующим критерием качества, т.е. используем алгоритм нечеткого вывода (рис. 5):

если $K_1(P_{31}^3)\in[0,0,6]$ или $K_2(P_{31}^3)\in[0,0,65]$ или $K_3(P_{31}^3)\in[0,0,6]$ или $K_4(P_{31}^3)\in[0,0,5]$ то $Kp_{31}^3=1$;

если $K_1(P_{31}^3)\in(0,6,0,9]$ или $K_2(P_{31}^3)\in(0,65,0,95]$ или $K_3(P_{31}^3)\in(0,6,0,9]$ или $K_4(P_{31}^3)\in(0,5,0,9]$ то $Kp_{31}^3=2$;

если $K_1(P_{31}^3)\in(0,9,1]$ и $K_2(P_{31}^3)\in(0,95,1]$ и $K_3(P_{31}^3)\in(0,9,1]$ и $K_4(P_{31}^3)\in(0,9,1]$ то $Kp_{31}^3=3$.

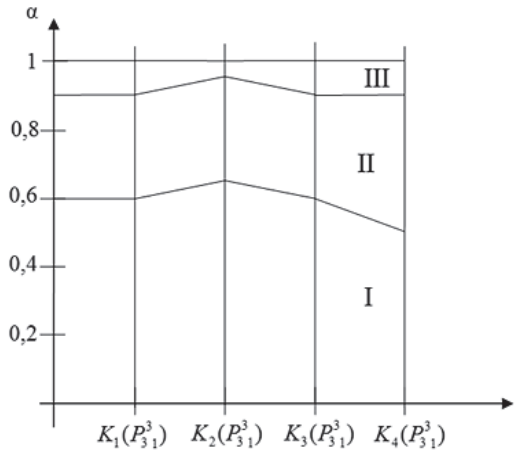


Рис. 5. Иллюстрация алгоритма нечеткого вывода критерия Kp_{31}^3

Уже на этой стадии можно частично оценить качество ТП: $K_{p31}^3=1$ — качество недостаточное, т.е. один или несколько показателей качества данной группы не соответствуют техническому заданию (ТЗ), $Kp_{31}^3=2$, $Kp_{31}^3=2$, $Kp_{31}^3=2$ — качество достаточное, т.е. все показатели качества данной группы соответствуют ТЗ; $Kp_{31}^3=3$ — качество хорошее, т.е. все показатели качества данной группы соответствуют ТЗ и оптимальны.

Комплексная оценка всей стадии разработки ТП производится подсистемой R_2^3 на основе количественных и качественных показателей качества ТП:

$$\text{если } Kp_{31}^3 \in [1] \text{ или } Kp_{32}^3 \in [1], \text{ то } R_2^3 = 1,$$

$$\text{если } Kp_{31}^3 \in [2] \text{ и } Kp_{32}^3 \in [2;3], \text{ то } R_2^3 = 2,$$

$$\text{если } Kp_{31}^3 \in [3] \text{ и } Kp_{32}^3 \in [2;3], \text{ то } R_2^3 = 3.$$

По результатам оценки качества разработанного ТП подсистема R_2^3 принимается решение: 1) цикл разработки технического предложения повторяется, т. е. результат оценки — недостаточное качество изделия; 2) уровень качества изделия на стадии технического предложения достаточен, и разработка изделия переходит на следующую стадию:

$$\text{если } R_2^3 = 1, \text{ то } F_4 = 1,$$

$$\text{если } R_2^3 \in [2;3], \text{ то } F_5 = 1.$$

Каждый критерий оператора оценивает соответствующие показатели изделия. Оценка производится путем сравнения показателей с допустимыми граничными значениями, которые назначаются исходя из требований ТЗ, безопасности, мирового опыта или мнения эксперта. При этом возможны следующие ограничения показателей: 1) ограничено нижнее значение характеристики изделия, при этом чем выше его абсолютное значение, тем выше качество изделия; 2) ограничено только верхнее значение характеристики изделия, при этом чем ниже его абсолютное значение, тем выше качество изделия; 3) ограничены нижнее и верхнее значения характеристики изделия, при этом чем ближе его абсолютное значение к «золотой середине», тем выше качество изделия; 4) ограничено наличие необходимого показателя; 5) ограничено отсутствие показателей.

4. Поддержка принятия решений на основе аппарата нечетких множеств

В том случае, если критерии носят качественный характер, то оценку на стадиях ЖЦИ [5] целесообразно выполнять с привлечением экспертов. При этом оценивается уверенность экспертов в определенной степени качества изделия при реализации оцениваемого проектного решения. Состав экспертов рекомендуется следующий: ЛПР — руководитель (его заместитель) проекта — субъект 1; руководитель работ по данному этапу — субъект 2; руководитель работ по предшествующему этапу — субъекты 3; руководитель работ по последующему этапу — субъект 4.

Алгоритм принятия решений коллективом экспертов:

1) экспертам присваиваются веса (их сумма равна единице) с учетом: а) степени ответственности за принимаемое решение; б) квалификации в предметной области решения;

2) устанавливается допустимая нижняя граница общей уверенности экспертов в эффективности управляющего воздействия (рекомендуется на основе опыта работы $\geq 0{,}7$);

3) определяются точки оценки возможных решений и управляющих воздействий (рекомендуется после каждого этапа ЖЦИ), $i = 1$;

4) переход к i-му этапу ЖЦИ;

5) обсуждение и оценка варианта проекта (уверенность в достижении требуемого качества результата реализацией проектного решения) каждым ВЭ в числовой форме (от 0 до1);

6) получение взвешенной оценки общей уверенности экспертов в надлежащем качестве изделия;

7) принятие решения ЛПР и переход к следующей точке оценки;

8) $i = i + 1$, возврат к п. 4.

Отдельного разговора заслуживает способ определения взвешенной уверенности всех экспертов. С этой целью разработана на основе экспертных оценок база знаний на основе нечетких множеств. Правила имеют вид:

(**ЕСЛИ** уверенность эксперта 1 с весом P_1 равна A_1) **И**

(**ЕСЛИ** уверенность эксперта 2 с весом P_2 равна A_2) **И**

(**ЕСЛИ** уверенность эксперта 3 с весом P_3 равна A_3) **И**

(**ЕСЛИ** уверенность эксперта n с весом P_n равна A_n) **ТО**

(взвешенная уверенность экспертов в требуемом уровне качества равна B_i).

Лингвистическая переменная A_i имеет три терма: достаточная, средняя, недостаточная (рис. 6). Лингвистическая переменная B_i имеет пять термов: весьма надежная, надежная, сомнительная, ненадежная, весьма ненадежная (рис.7).

Пример правила: «**ЕСЛИ** уверенность эксперта 1-достаточная **И** уверенность эксперта 3 — достаточная **И** уверенность эксперта 3-достаточная **И** уверенность эксперта 4 — средняя, **ТО** значение лингвистической переменной B_i — надежная».

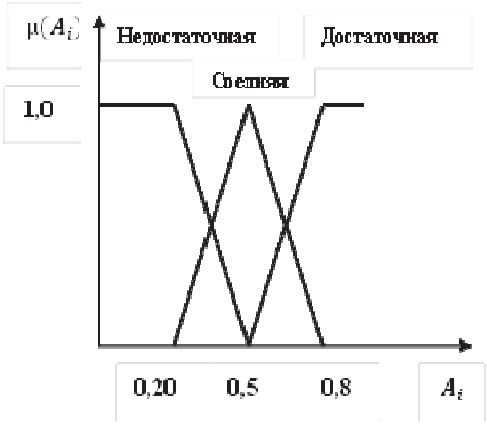


Рис. 6. Функции принадлежности лингвистической переменной A_i

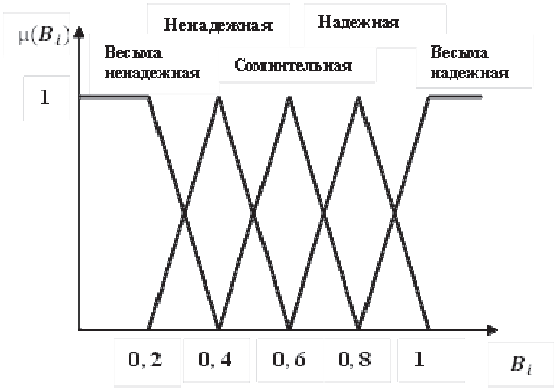


Рис. 7. Функции принадлежности лингвистической переменной B_i

Фазилогическая конъюнкция подусловий выполняется по правилу минимума. Нахождение функций совместной принадлежности — по правилу нечеткой импликации Мамдани. Дефазификация взвешенной оценки уверенности экспертов (результат) — по центроидному методу [6].

Заключение

Представленные продукционные модели знаний для автоматизированной системы управления качеством наукоемкой машиностроительной продукции позволяют достаточно просто управлять качеством изделия в процессе выполнения проекта его создания.

Методика на основе применения аппарата нечетких множеств дает возможность адекватно представить практические знания экспертов и произвести расчет значений комплексных критериев или критериев, имеющих качественный вид. Таким образом, появляется возможность комплексно оценивать количественные и качественные показатели качества изделия.

Список литературы

1. *Бурдо Г.Б., Стоянова О.В.* Принципы создания АСУ проектами наукоемких машиностроительных изделий. Гибридные и синергетические интеллектуальные системы // Материалы 3-й Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. Россия, Светлогорск, 06 июня — 11 июня 2016 г. года. Калининград : Изд-во БФУ им. Канта, 2016. С. 224—232.

2. *Бурдо Г.Б., Семенов Н.А., Виноградов Г.П. и др.* Принципы оценки решений в автоматизированной системе управления качеством машиностроительной продукции // Программные продукты и системы. 2016. №2(114). С. 113—118.

3. *Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.* Нечеткие модели и сети. М. : Горячая линия-Телеком,2007.

4. *Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А. и др.* Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / под ред. Н.Г. Ярушкиной. М. :Физматлит, 2007.

5. *Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф. и др.* Управление жизненным циклом продукции. М. : Анархист, 2002.

6. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М. : Мир, 1976.

О.В. Васильева[1], В.И. Кияев[2]
[1]СПбГУ, [2]СПбГЭУ, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: [1]vasiljevaa@mail.ru, [2]kiyaev@mail.ru

СТРУКТУРА АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ С ГРУЗАМИ В МОРСКОМ ПОРТУ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Современный крупный морской порт — сложный хозяйственный технико-технологический объект. Информационное сопровождение работы такого объекта достаточно трудная информационно-вычислительная задача по многим причинам, одна из главных — формирование эффективного расписания погрузочно-разгрузочных работ. Такое расписание «живое», оно учитывает динамику прихода и ухода судов, часто зависящую от погодных условий, периоды их отстоя на рейдах, загрузку причалов и погрузочной техники, особенности принимающих терминалов и внутрипортовой логистики.

В таких условиях очевидна необходимость автоматизации процесса составления и корректировки расписания в он-лайн режиме. В статье рассмотрены модели, соответствующие инфраструктурным элементам порта и элементам окружения, представлены основные принципы и алгоритм построения расписания работы порта, а также критерии качества его построения – на основе использования генетических алгоритмов, которые обеспечивают лучшие характеристики по представленным критериям качества [1—3].

Мультиагентные технологии в большой степени имеют своей основой природные явления и живые системы. Яркий пример мультиагентной системы в природной среде — колония муравьев. Каждый отдельный муравей — агент, способный исполнять базовые функции. При необходимости достижения общей цели (поиск пищи, защита жилища и т. д.) возникает рабочее взаимодействие между агентами передачей информации феромонами. Таким образом, агент, получивший новую информацию, делится ею с другими агентами – тем самым ускоряя и упрощая процесс развития муравейника в целом. Переходя к области компьютерных наук, можно сказать, что для создания мультиагентной системы необходимо определить ключевую сущность, относительно которой рассматривается система. Такая сущность, как правило, реализуется мобильным агентом, который работает как самостоятельная специализированная компьютерная программа разной степени самостоятельности («интеллекта») и взаимодействует с другими программными агентами.

При решении задачи по традиционной схеме реализации программной среды в условиях нулевой неопределенности строится некоторый детермини-

© Васильева О.В., Кияев В.И., 2018

рованный логически обоснованный алгоритм, приводящий к решению задачи. В задачах с использованием мультиагентного подхода решение в некоторых обусловленных случаях генерируется автоматически в процессе взаимодействия заданного множества программных агентов [4]. В этом случае решение получается за счет большого числа взаимодействий таких агентов. Залог достижения искомой цели — строгое определение целей для каждого агента и формирования правил их взаимодействия.

В условиях разной степени неопределенности работает, как правило, сценарный подход отработки ситуации, при этом сценарии часто задаются для некоторого начального этапа действий агентов – далее агенты могут действовать самостоятельно, совместно вырабатывая новые сценарии достижения поставленной цели. На каждом шаге агенты рассматривают входы управляющей системы и реагируют на непредсказуемые события (задержки, сбои, изменения). Реакция может быть самостоятельной или осуществляться во взаимодействии с оператором. Для описания алгоритма формирования расписания необходимо определить понятие «агент», которое использовано в дальнейшем.

Выявим свойства, которыми должен обладать агент. Интеллектуальный агент — обособленная (самостоятельная) программная сущность, обладающая следующими свойствами [5]: автономность — способность функционировать без вмешательства со стороны своего владельца и контролировать внутреннее состояние и свои действия; коммуникативность — агенты могут взаимодействовать между собой; наличие цели — совокупность состояний, на достижение которых направлено текущее поведение агента; активность — способность генерировать цели и действовать рациональным образом для их достижения; реактивность — адекватное восприятие среды и соответствующие реакции на ее изменения; наличие базовых знаний — знания агента о себе и об окружающей среде, включая других агентов, которые не меняются в рамках жизненного цикла агента; наличие убеждений — переменная часть базовых знаний, которые могут меняться во времени.

Взаимодействующие агенты с описанными выше свойствами могут быть объединены в систему для решения конкретных задач — в этом случае можно говорить о мультиагентной системе (МАС). Отметим, что в МАС включаются не только отдельные агенты, но и совокупности агентов (метаагенты), объединенных по некоторым заданным признакам.

В задаче составления эффективного динамического расписания и мониторинга работы порта [6] предполагается использование следующих метаагентов (МА), которые могут содержать группы «рабочих» агентов.

1. Судно — система агентов, отслеживающих различные показатели: запас топлива, запас питьевой воды, осадка судна, показания бортовых приборов, курс судна, погодные условия, наличие свободных площадей и возможность размещения дополнительного груза.

2. Порт — МА, в который входят агенты, отслеживающие состояние портовых кранов, дозаправщиков топлива и воды, свободных площадей на складах и т. д.

3. Транспорт — агенты с задачами отслеживания текущих показателей использования автомобильного и железнодорожного транспорта (тоннаж, количество единиц, время подачи на причал, время окончания операции), который участвует в погрузке/разгрузке судов.

Приведем для примера описание действий некоторых агентов, используемых при разработке алгоритма.

Агент судна — агрегатор информации, поступающей от агентов, осуществляющих постоянный мониторинг состояния судна. На основе этой информации агент предупреждает капитана о возникновении потенциальных рисков в текущем состоянии судна, а также реализует функции, которые принимаются к рассмотрению в настоящей задаче — передает информацию в порт о требуемых операциях, проводимых с судном.

Алгоритм работы агента:

```
procedure ShipInfo
tm = текущее время;
ld = false; //наличие свободного места на судне
maxld = максимальный типоразмер груза, требуемый к выгрузке в порту;
maxt = максимальное время, доступное судно для разгрузки в порту;
track = местоположение судна;
ft = состояние топливных баков судна;
wt = состояние баков с питьевой водой на судне;
shdep = агрегированный показатель рисков для судна, связанный с погодными
условиями, осадкой и показаниями бортовых приборов;
function ReportIn
track = текущее показание GPS датчиков;
ld = показание датчиков загрузки судна;
ft = состояние топливных баков судна;
wt = состояние баков с питьевой водой на судне;
maxld = рассчитать масимальный типоразмер груза, который будет выгружен в
ближайшем порту;
shdep = расчет рисков на основе показаний датчиков судна
if shdep > максимальный уровень риска, отправка сообщения SOS
end if
end function
function ReportOut
if ft < требуемое количество топлива до порта, в которое должно войти судно
после посещения ближайшей точки маршрута +10%
then
формировать сообщение о требуемой дозаправке
end if
if wt < требуемое количество питьевой воды до порта, в которое должно войти
судно после посещения ближайшей точки маршрута +10%
then
формировать сообщение о требуемой дозаправке
end if
формировать сообщение с информацией о maxld, maxt
end function
repeat
every 30 minutes ReportIn
if расстояние до порта < 2 дней пути
then every 5 hours ReportOut
end if
until
корабль зашел в порт
end procedure
```

Рассмотрим действия агентов, используемых для отражения деятельности порта.

Агент портового крана — отслеживает планируемое время работы крана в соответствии с полученным ранее заданием.

Алгоритм работы агента:

```
procedure PCrane
tm = текущее время;
task = количество груза, которое нужно загрузить/разгрузить;
lw = максимальный груз, с которым может работать данный кран;
busy = false;
if task != 0
then
busy = true;
расчет окончания работ на основании параметров tm, task, lw
else
busy = false;
end if
end procedure
```

Агент дозаправщика топлива — работает аналогично агенту дозаправщику воды. В связи с этим приведем только алгоритм работы дозаправщика топлива:

```
procedure RFuel
tm = текущее время;
level_r количество топлива, требуемое к дозаправке
level_a количество топлива, имеющееся в дозаправщике
if
пришло задание на дозаправку
then
if level_r > level_a
then
отправить дозаправщик за топливом
else
дать задание заправщику на заправку, на основе параметра tm рассчитать время
окончания заправки
end if
end if
end procedure
```

Агент автомобильного грузового транспорта — отслеживает возможность использования транспорта, его местоположение и соответственно время прибытия к месту погрузки/разгрузки товара. Алгоритм работы агента автомобильного грузового транспорта аналогичен алгоритму работы агента ж/д грузового транспорта.

Поэтому приведем ниже только алгоритм работы агента автомобильного грузового транспорта:

```
procedure TrackUse
tm = текущее время;
ld = false; //текущее состояние груза на транспорте
track = местоположение автотранспорта;
tsk = false; // наличие задачи от портового терминала
repeat
if ld = true;
```

```
then
отправить оператору сообщение, что транспорт занят
else
ld = true;
tsk = false
рассчитать время прибытия на основе параметров tm и track
end if
until tsk = true
end procedure
```

Общая схема взаимодействия метаагентов «Судно», «Порт» и «Транспорт» показана на рисунке.

Рис. Схема взаимодействия метаагентов

Алгоритм построения расписания работы порта, на основе данных, поступающих от агентов, а также критерии качества его построения – на основе использования генетических алгоритмов, представлен в [6].

В статье приведены примеры действий метаагентов, соответствующих некоторым инфраструктурным элементам морского порта и элементам окружения, представлена схема их взаимодействия. Естественно, что количество метаагентов и соответствующих исполнительных агентов может варьироваться в зависимости от размеров порта, его реальной инфраструктуры и состава логистических задач.

Дальнейшая работа по данному проекту заключается в глубокой проработке алгоритмов работы агентов, составлению подробной схемы их взаимодействия, разработка структуры базы данных — агрегатора информации, поступающей от агентов, а также модельные эксперименты на программном комплексе собственной разработки.

Список литературы

1. *Граничин О.Н., Кияев В.И.* Информационные технологии и системы в современном менеджменте. СПб. : Изд-во ВВМ, 2014.

2. *Ерофеева В.А., Иванский Ю.В., Кияев В.И.* Управление роем динамических объектов на базе мультиагентного подхода // Компьютерные инструменты в образовании. 2015. № 6. С. 36—44.

3. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. и др.* Алгоритмы: построение и анализ. М. : Вильямс, 2012.

4. *Бендерская Е.Н., Граничин О.Н., Кияев В.И.* Мультиагентный подход в вычислительных технологиях: новые грани параллелизма и суперкомпьютинг // Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции «Информационные технологии в бизнесе». СПб. : Инфо-да, 2013. С. 7—13.

5. *Амелин К.С., Амелина Н.О., Граничин О.Н. и др.* Разработка приложений для мобильных интеллектуальных систем на платформе Intel Atom. СПб. : Изд-во ВВМ, 2012.

6. *Васильева О.В., Кияев В.И.* Алгоритм формирования эффективного расписания работы с грузами в морском порту с использованием технологии генетических алгоритмов // Школа-семинар по искусственному интеллекту : сб. науч. тр. Тверь : Твер. гос. техн. ун-т, 2018. С. 3—12.

Г.П. Виноградов, В.Н. Кузнецов
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия
e-mail: wgp272ng@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНОГО ПОДХОДА

Введение

Актуальность работ, связанных образовательными проектами, обусловлена динамикой научно-технического прогресса, а также переходом к экономике информационных взаимодействий [1]. Цель их разработки и реализации — формирование у будущих специалистов: 1) эффективных моделей поведения в различных ситуациях их деятельности в выбранной предметной области; 2) способов и правил модификации их опыта.

Под образовательным проектом кафедры университета подразумевается разработка в соответствии с приказами и распоряжениями руководства университета общих характеристик образовательных программ: требований к выпускной квалификационной работе, порядку ее выполнения и защиты; программ государственного экзамена и порядку его проведения; рабочих программ, аннотаций и приложений к ним, учебно-методических комплексов, документов и пр.

© Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н., 2018

1. Принципы создания и применения систем управления образовательными проектами

Наиболее перспективный подход к формированию структуры и управления образовательным проектом — модель информационного взаимодействия в рамках активных саморазвивающихся сетевых экспертных сред [2]. Элементарная часть такой среды — эксперт-профессионал, владеющий современными телекоммуникационными технологиями, средствами Интернета. Интеграция в сетевой структуре естественных интеллектов образует коллективный стратегический субъект — средство синергии знаний и действий в процессе взаимодействия. Это означает, что структура активной саморазвивающейся сетевой экспертной среды должна учитывать, по крайней мере два принципа.

Принцип активного окружения. Основные элементы внешней среды для университета — образовательные учреждения среднего образования, потребители образовательных услуг. Поэтому для понимания ситуации целеустремленного состояния университета как системы надо рассматривать как минимум следующую цепочку (глубина рефлексии — два) (рис. 1).

Такой подход к структуризации окружения университета позволяет схеме (рис. 1) поставить в соответствие двухуровневую активную многоагентную систему. Характерная черта такой системы — взаимозависимость, возникающая на основе взаимных интересов.

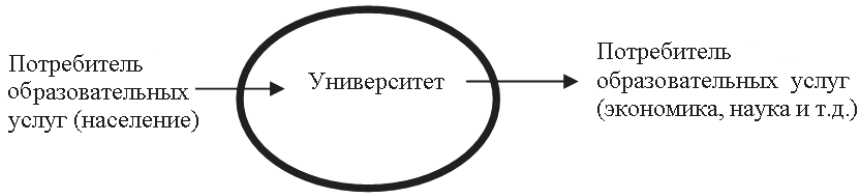


Рис. 1. Рефлексия при анализе и синтезе целевого состояния

Одна из возможностей для повышения эффективности этой активной системы — анализ потребностей у потребителей в образовательных услугах. Соответственно и потребитель должен обладать знанием о возможностях университетов. Такого рода знание создает предпосылки определения желаемых состояний в пространстве показателей за счет появления идей улучшения организации подготовки кадров, выбора шагов решений в этом пространстве с одновременной трансляцией усовершенствований потребителю. Это позволяет также не только учитывать пожелания потребителей образовательных услуг, но сформировать его потребности, что создает направление дальнейших нововведений.

Принцип коалиции. Этот принцип предполагает создание в соответствии с субъектно-ориентированным подходом активной самоорганизующейся экспертной среды и структуры системы междисциплинарных исследований. Структура включает центр междисциплинарных и трансдисциплинарных ис-

следований управления образовательными проектами. В него входят представители различных научных направлений и руководитель междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований по управлению образовательными проектами. Формируется состав группы исследования и построения моделей управления образовательными проектами с использованием математики теории активных систем и информационной технологии согласования. Они рассматриваются как коалиция по разработке методики исследований по формированию содержания образовательных проектов.

2. Механизм самоорганизации сетевых экспертных систем в задаче управления образовательным проектом

Саморазвитие университета предполагает вовлечение через использование сетевых технологий продвинутых потребителей в инновационный процесс совершенствования образовательных услуг, получения идей или контента путем обращения к их креативным способностям в обмен на вознаграждение, соответствующее вкладу. Поэтому необходима система, обеспечивающая направление поиска решений и идей, а также фильтрацию, обобщение информации, определение ее ценности и перспективности. Способ повышения качества решений по образовательному проекту — синтез технологий краудсорсинга, сетевой экспертизы и методологии теории активных систем (рис. 2). Предлагаемый подход рассматривает процесс извлечения новых идей и знаний как активную систему с неоднородными агентами со встречным способом сообщения информации и активным воздействием центра в форме запросов для получения рефлексивных оценок [3; 4].

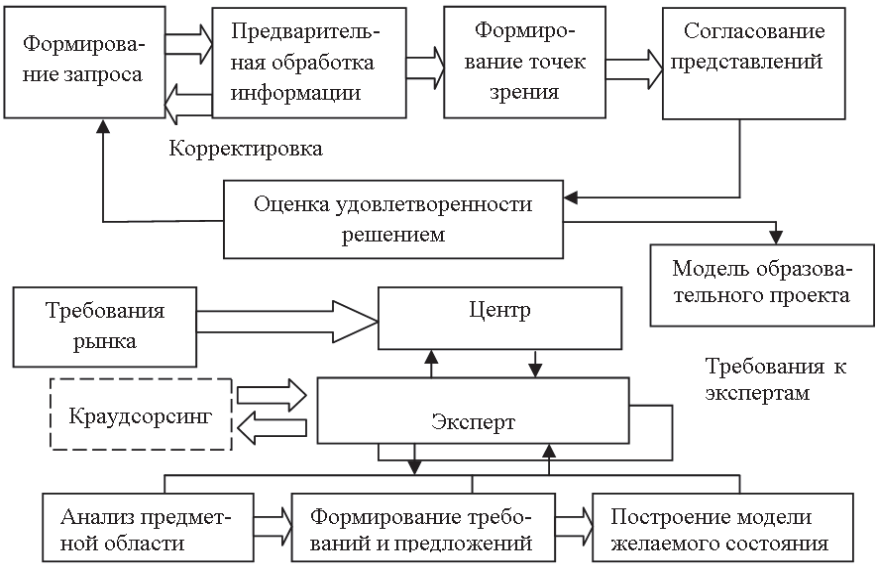


Рис. 2. Формирование согласованных представлений об образовательном проекте на основе краудсорсинга

Средства краудсорсинга в этом случае используются для решения задачи по извлечению информации, очистки и предварительной обработки (выделение признаков, семантическая кластеризация, построение онтологий и т. п.), что значительно ускоряет процесс построения согласованной модели выбора в сетевой экспертизе и ее трансляции в окружение системы.

Центр формирует запросы, оформляет их дизайн, дорабатывает семантическую кластеризацию и онтологию предметной области. Цикл взаимодействия центра с экспертами будет продолжаться до тех пор, пока вклад новой информации в рост оценки полезности сформированных представлений будет несущественным. Полученная модель представлений о предметной области используется для формирования модели образовательного проекта. Анализ удовлетворенности от принятого решения позволяет корректировать как модель представлений, так и модель способа действия (решения).

Способы описания структуры представлений субъектов активного окружения, условия идентичности, регулярности, правильности, различий в информированности субъектов, а также условия существования динамического информационного равновесия, модели согласования представлений в процессе коммуникации приведены в [5; 6].

3. Рефлексивное согласованное управление образовательным проектом

Формирование и реализация образовательного проекта выполняется на основе опыта работы эксперта (в том числе и преподавателя) и его личностного знания, накопленного в процессе всей своей профессиональной деятельности. Это делает эксперта ключевой фигурой, определяющей качество и эффективность образовательного проекта. Достижение цели проекта предполагает формирование согласованного объема знаний, закрепление его в форме убеждений у студентов, методов, средств формирования у них креативного мышления и способов действия в типовых ситуациях. Решение этой задачи возможно путем рефлексивного согласованного управления образовательным проектом. Суть его состоит в активизации всех видов рефлексивного мышления у участников проекта.

Основной рефлексивный процесс — образное мышление, так как оно позволяет принимать творческие решения по новым проблемам и развивать личностное знание. Образное мышление сопутствует осознаваемому или неосознаваемому трансу. Техники и технологии, связанные с трансом, структурированы и описаны в форме алгоритмических предписаний и могут быть формализованы с помощью структурного программирования [5]. До выбора решения следует получить информацию о возможных альтернативах (например, в виде ряда ранжирования вариантов решения). Необходимые условия для их формирования — информационные действия, согласно модели TOTE Р. Бендлера и Р. Дитлса [7]. Этой моделью можно описывать и формировать психические и поведенческие программы человека по достижению цели с помощью разнообразных средств. Модели описания с использованием понятия TOTE также хорошо формализуются структурным программированием.

В процессе моделирования должно быть достигнуто состояние гармонии при образном мышлении как согласование информации (творческого решения) сознательного и бессознательного у каждого участника проекта [8]. Согласно работе [8] информация сознательного и бессознательного не согласована. Кроме того, сознательное осуществляет цензуру бессознательного, искажает, дополняет и вытесняет информацию с его решением [8]. Однако именно от бессознательного передается информация о творческом решении. Согласование сознательных и бессознательных данных осуществляется путем целенаправленной фальсификации, введением гипотез, спонтанными фантазиями, с помощью данных «спонтанных ассоциаций», бессознательного нарушения поведения, ошибок памяти и др. [8]. Для этого может быть использована модификация информационной технологии согласования [5; 6].

Поведение агентов участников проекта определяется их моделью субъективных представлений, связывающей состояние окружающей среды (окружение) агента, способы его действия, получаемый при этом результат (материальный или духовный) и ценность результата и поведения в целом. При планировании своего поведения агенты прогнозируют состояние окружающей среды, возможные результаты, их ценность, способ действия. При оценке результата своего поведения агенты контролируют и оценивают выполненные ими действия, полученные при этом результаты, его ценность и ценность всего поведения. Эти оценки формируют у эксперта состояния удовлетворенности и убежденности. Удовлетворенность представляет интегральное чувство или эмоцию. Оно определяется совокупностью конкретных, частных чувств и эмоций от полученного результата или возможности его получения. В процессе поведения агентом решается задача — результат, к которому агент стремится больше всего в течение некоторого времени для некоторого состояния окружения. На каждом этапе k, который соответствует промежуточному результату, происходит продвижение к решению задачи, в процессе которого ожидаемая ценность (целевая функция $f(y_j[k])$) монотонно возрастает по итогам относительно результата. Опишем это следующим образом [9]:

1) постановка задачи принятия решений, $k = 0$;

2) $k = k+1$;

3) поиск способа действия $y_j[k]$;

4) оценка целевой функции $f(y_j[k])$;

5) оценка удовлетворенности: если $o'key$, то задача решена и остановка поиска. В противном случае — продолжение поиска решения и переход к п. 2.

Здесь: $f(o'key)[k]$ — функция удовлетворенности; $s[k]$ — функция затрат поиска (психологические, временные, материальные и т. д.) выпукло монотонно возрастает по k; $f(o'key)[k] = \max\{f(y_j[k]) - s[k] \mid k \in K\}$ — условие удовлетворенности. В этом случае гипотеза рационального поведения формально будет записана $y(o'key) = \mathrm{Argmax}\{f(y_j[k]) - s[k] \mid k \in K\}$.

Проблему агент может решать индивидуально или в составе группы принятия решений (активной системы с целеустремленными агентами), в которую входят целеустремленный центр и другие целеустремленные агенты. В первом случае он выбирает такое решение проблемы, которое его удовлетворяет или которое больше удовлетворяет, чем любое другое решение, т. е. проявляет стремление получить оптимальный результат. При этом он должен быть убежден в возможности его получения. Во втором случае целеустремленные агенты выбирают решение проблемы, которое удовлетворяет всех целеустремленных агентов, и все они убеждены в этом (оценка решений). Оптимальное решение проблемы ищется в ходе согласованной оптимизации удовлетворительных решений проблемы.

Измерение значений функций принадлежности элементов нечетких множеств (например, идеалов или целей) — меры интенсивностей удовлетворенности и убежденности целеустремленного агента (эксперта) осуществляется с помощью лингвистических и репрезентативных переменных, критериев и целей. Для оценки степени согласованности решений используется алгоритм.

1. *Линейная свертка с коэффициентами значимости.*

Рассчитываются средние оценки по участникам. При согласованности решений участников, как и в методах экспертных оценок, набор критериев конкретных *j*-х участников сопоставляется с опытом в «эксперименте».

Рассмотрим векторный критерий $k(w)$. Сначала строится дерево целей и соответствующее ему дерево критериев.

$$\mu_D(k(w)) = \sum_{i=1}^{n} a_i(k(w)) \times \mu_{G_i}(k(w)) + \sum_{j=1}^{m} \beta_j(k(w)) \times \mu_{C_j}(k(w)),$$

где a_i, β_j — коэффициенты значимости критериев, для которых справедливо

$$\sum_{i=1}^{n} a_i(k(w)) \times \mu_{G_i}(k(w)) + \sum_{j=1}^{m} \beta_j(k(w)) \times \mu_{C_j}(k(w)) = 1.$$

2. *Отображение функций принадлежности идеалов и целей целеустремленных агентов.*

3. *Определение функции принадлежности идеала и цели с помощью объединений, пересечений и их комбинаций нечетких множеств идеалов, целей и ограничений второго, третьего (и т. д.) уровней.*

Рассмотрим цели в виде объединений нечетких множеств на каждом уровне [10]. Уровней может быть несколько. Для простоты сначала рассмотрим два уровня. Пусть на втором уровне находятся m целей. Определим $\mu_D(w) = \bigcap_j^m \mu_{G_j}(w)$, или с учетом коэффициентов значимости $\mu_D(w) = \bigcap_j^m a_j \mu_{G_j}(w)$, тогда $\mu_D(w) = \mu\left(\bigcap_j^m a_j \mu_{G_j}(w) \right) = \min\{a_j \mu_{G_j}(w)\}$.

На втором уровне мы имеем несколько целей G_{ij}, $i = 1,...,n$, $j = 1,...,m$

$$\left(\mu_D(w) = \bigcup_i^n a_i \left(\bigcap_j^m a_{ij} \mu_{G_{ij}}(w) \right)\right), \quad \left(\mu_D(w) = \bigcap_i^n a_i \left(a_{ij} \bigcup_j^m \mu_{G_{ij}}(w) \right)\right),$$

$$\mu(A \vee B) = \oplus(\mu_a, \mu_b) = \max\{\mu_a, \mu_b\}, \quad \mu(A \wedge B) = \otimes(\mu_a, \mu_b) = \min\{\mu_a, \mu_b\}.$$

4. *Построение комплексной оценки решений с применением метода сетевого программирования*, в основе которого лежит представление целевой функции и ограничений задачи в виде суперпозиции более простых функций [6].

Если эксперт удовлетворен полученным решением и полученным образом в виде ТОТЕ, убежден в этом и согласен с этим, то он переходит к формированию следующего ТОТЕ, т. е. к следующей части образовательного проекта в соответствии с иерархической структурой множества формирующихся ТОТЕ. В противном случае вся процедура сознательного и бессознательного образного мышления повторяется. При этом для согласования информации сознательного и бессознательного эксперта должна применяться информационная технология согласования.

Для описания группового поведения экспертов при неформальном и формальном общении применена модель постоянного обновления знаний ***IWRA*** [10]. ***I*** означает индивидуальные вклады, основанные на озарении, интуиции и информации конкретного человека с отличающимися от других ценностями и структурами, такие конкретные индивиды собираются вместе, чтобы делать работу (***W***). Участники проекта работают для того, чтобы уравновешивать различия в восприятии и создавать общее восприятие, т. е. они работают вместе (***W***), совместно направляя усилия к общей цели (изменение и новое представление миссии), вносят коррективы (***A***) в организацию и предпринимаем конкретные действий для достижения общей цели.

В процессе согласования используется трансдисциплинарный подход. Он заключается в следующем. Сначала математика теории активных систем и методологии технологии согласования в информационных системах расширяется группой исследования с помощью эвристических процедур, которые строятся с применением математических задач системного анализа Н. Н. Моисеева [11]. Потом осуществляется расширение с помощью идей наук о «человеке». Корректируются формализация и математические постановки задач информационной технологии согласования. Разрабатываются модели описания, понятные всем членам коалиции. Далее осуществляются расширения с использованием личностного знания всех членов коалиции с применением образного мышления и согласованной оптимизации. Для этого используется подход по согласованной оптимизации понимания смысла, содержания и ценности моделей описания, а также ценности методики исследований и творческих решений экспертов по образовательным проектам. В соответствие с положениями проводятся согласование и согласованная оптимизация смысла, понимания и ценности по моделям описания (текст, логика, математика, образное мышление, согласование содержания сознательного и бессознательного) творческих решений всех участников. Согласование и согласованная оптимизация проводятся в группах, формируемых (время, состав, численность) по необходимости.

Заключение

Описана попытка проведения междисциплинарных исследований управления образовательными проектами с применением трансдисциплинарного подхода. В процессе исследований применены современные подходы философии, психологии, нейролингвистического программирования, нейрофизиологии, информатики и управления в социальных и экономических системах.

Рассмотрена проблема исследования рефлексивных процессов управления образовательными проектами по новым перспективным направлениям, у которых нет аналогов. Ее решение связывается с задачами управления личностным знанием экспертов, так как именно они — носители нового знания, получаемого в процессе активных научных исследований.

Список литературы

1. *Новиков А.М., Новиков Д.А.* Образовательный проект (методология образовательной деятельности). М. : Эгвес, 2004.

2. *Виноградов Г.П., Виноградова Н.Г.* Самоорганизующиеся сетевые экспертные среды в системах с эндогенным принципом целеуказания // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 1(19). С. 36—54.

3. *Виноградов Г.П., Виноградова Н.Г.* Эволюционные модели для систем с эндогенно формируемыми целями // Гибридные и синергетические системы : материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием (6—11 июня 2016 г., Светлогорск, Калининградская область) / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 316—324.

4. *Виноградов Г.П. Кузнецов В.Н., Бурдо Г.Б.* Возможностная оптимизация в целеустремленных системах // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3—7 октября 2916 г., г. Смоленск, Россия) : тр. конф. : в 3 т. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 1. С. 239—247.

5. *Кузнецов В.Н.* Методология согласования в экономических информационных системах : дис. … д-ра техн. наук. М.,1998.

6. *Виноградов Г.П., Ивашкин Ю.А.* Моделирование переговорных процессов в высокотехнологичных производственных системах // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 202—248.

7. *Бендлер Р.* Руководство по изменению личности. М. : Эксмо, 2010.

8. *Юнг К.Г.* Об энергетике души. пер. с нем. В. Бакусева. М. : Академический проект, 2013.

9. *Бурков В.Н., Кузнецов В.Н., Палюх Б.В.* Информационно-управляющие системы принятия решений целеустремленными субъектами // Современные сложные системы управления : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. СССУ 2008 (6—7 мая, Тверь, Россия) / под общ. ред. Д.А. Новикова, В.Н. Кузнецова. Тверь: ТГТУ, 2008. С. 31—40.

10. *Кузнецов В.Н., Доропей В.Н., Чудов С.А.* Системный анализ согласованного управления и принятия решений в интеллектуальных активных системах // Системы управления и информационные технологии. 2012. № 3.1(48). С. 141—146.

11. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

А. В. Колесников[1], С. В. Листопад[2], А. В. Барзенков[3], И. А. Бенько[4], С. А. Кузин[5]
[1,3,4,5] БФУ им. И. Канта, [1,2]Калининградский филиал ФИЦ ИУ РАН, Россия
e-mail: [1]avkolesnikov@yandex.ru, [2]ser-list-post@yandex.ru, [3]cbv-k@mail.ru, [4]igor.benko.1991@gmail.com, [5]skuzin@kantiana.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Введение

В общем случае «распределенная» генерация электроэнергии (РГЭ) — выработка электроэнергии по месту ее потребления, т. е. на уровне распределительной сети или на стороне потребителя, включенного в сеть [1; 2]. Благодаря географической близости потребителей и энергоисточников системы РГЭ существенно снижает потери и затраты на передачу электроэнергии, а также уровень тарифов на присоединение к электросетям. При этом подразумевается множество потребителей, которые производят электроэнергию для собственных нужд, направляя их излишки в общую сеть, а также объектов малой генерации, которые могут применяться в качестве резервных и пиковых источников либо базовых при наличии инфраструктурных сетевых ограничений [1].

Распределенная генерация электроэнергии дополняет централизованную систему новыми элементами с новыми динамическими характеристиками и возможностями управления. В энергоисточниках могут применяться различные технологии: прямое сжигание твердого топлива (включая биомассу, уголь, твердые бытовые отходы), нефтепродуктов или природного газа, солнечные электростанции (СЭС), ветроэнергоустановки (ВЭУ), малые гидроэлектростанции (ГЭС), атомные станции малой мощности. Такое разнообразие имеет как положительные стороны, так и обусловливает множество проблем: стохастический режим работы РГЭ на базе возобновляемых источников энергии требует до 50 % резервирования мощности; РГЭ усложняет систему релейной защиты и автоматики, диспетчерское управление; существует пороговый уровень единичной мощности генератора, ниже которого такое присоединение оказывается нерентабельным [1].

Таким образом, одна из проблем при построении сети РГЭ — выбор месторасположения и состава объектов малой генерации. Это комплексная оптимизационная задача и в настоящий момент для ее решения требуется опыт и знания экспертов в различных областях деятельности, таких как электроэнергетика, экономика, строительство, экология и других. В работе рассматривается постановка данной задачи, а также общая структура предлагаемой гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления для ее решения.

© Колесников А. В., Листопад С. В., Барзенков А. В., Бенько И. А., Кузин С. А., 2018

1. Описание проблемы

Согласно [1] технологии РГЭ применяются для энергоснабжения потребителей трех типов: автономное энергоснабжение, при котором малые энергоустановки РГЭ используются в изолированных энергосистемах; совместное применение с централизованной системой энергоснабжения в пиковые часы и для обеспечения резервного энергоснабжения; децентрализованная генерация энергии совместно с централизованной системой энергоснабжения, при которой РГЭ — основной источник, при этом его работа согласована с централизованной системой. В двух последних случаях системы распределенной энергетики приобретают привлекательные свойства: повышение энергетической независимости потребителей; сглаживание пиковых нагрузок; снижение уровня необходимого резервирования мощности; возможность использования местных энергоресурсов.

Подключение объектов распределенной генерации на параллельную работу с электрической сетью или включение объектов распределенной генерации в аварийных режимах устройствами автоматики ограничения перегрузки позволит ликвидировать перегрузку трансформаторов и предотвратить аварийное отключение потребителей, а также улучшить режимные параметры электросети. Основные оптимизируемые параметры электросети при выборе места установки источников генерации: суммарные потери электроэнергии, стабильность уровней напряжения, величина перетоков по связям и токов короткого замыкания [3; 4]. Таким образом, одна из основных задач при выборе местоположения объектов РГЭ — идентификация проблемных узлов энергосети, в которых следует размещать объекты генерации.

При размещении объектов РГЭ требуется также учитывать цикличность (суточную и годовую) и стохастический характер генерации электроэнергии отдельными типами источников, их влияние на параметры электросети. Например, для СЭС максимальная мощность генерируется в полуденные часы летних месяцев в ясные дни, а генерируемая мощность ВЭУ сильно зависит от погодных условий.

Не менее важная задача — долгосрочное прогнозирование и удовлетворение спроса на электроэнергию при имеющихся ограничениях электросети. Для подстанций с низким ростом нагрузки существующих потребителей и низкой заявленной мощностью на технологическое присоединение потребителей при достижении загрузки трансформаторов в расчетном аварийном режиме более 105 % целесообразно подключить объект распределенной генерации и снизить загрузку трансформаторов. Это позволит эксплуатировать трансформаторы до достижения нормативного срока службы без аварийных перегрузок и исключить необходимость замены трансформаторов на более мощные [5], в которых нагрузка приближается к предельно допустимым значениям (рис. 1) [6].

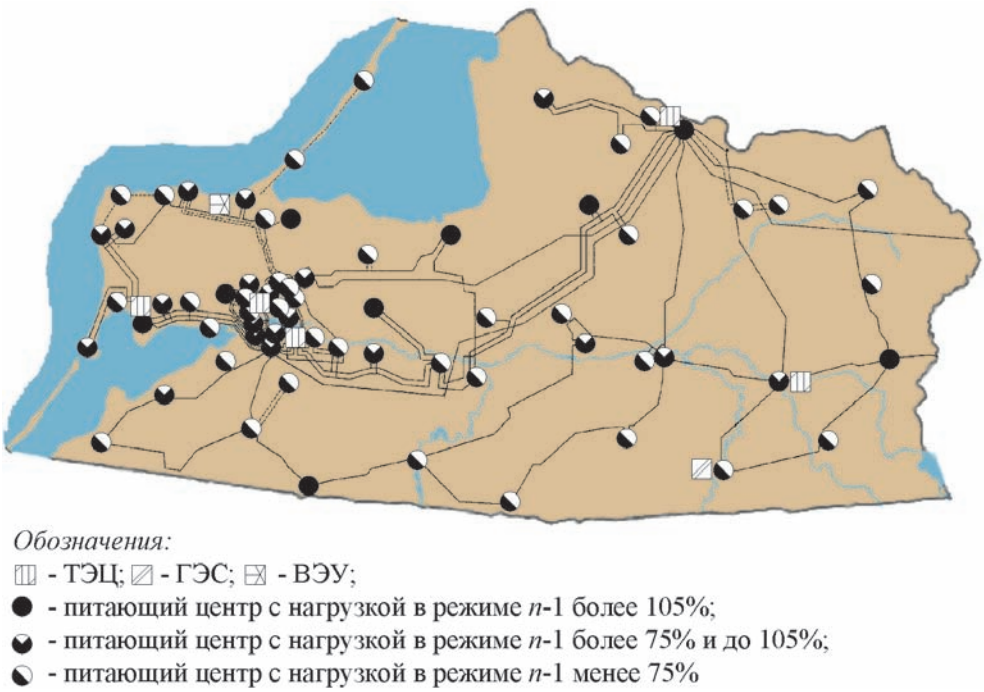


Рис. 1. Схема загруженности питающих центров электросети Калининградской области

При размещении объектов распределенной генерации немаловажную роль играет их рентабельность, которая напрямую зависит от капитальных затрат на ввод объекта в эксплуатацию, себестоимости производимой электроэнергии и прогнозируемых тарифов на нее. В составе капитальных затрат на ввод объекта в эксплуатацию присутствует как постоянная составляющая, обусловленная стоимостью оборудования, так и зависящая от места размещения стоимость технических решений, необходимых для функционирования объекта: прокладка газопроводов в случае мини-ТЭЦ, напорных трубопроводов мини-ГЭС, постройка линий электропередач и другие. Себестоимость электроэнергии определяется стоимостью обслуживания, топлива в случае мини-ТЭЦ, эффективности энергоустановки. В случае энергоустановок на возобновляемых источниках энергии (СЭС, ВЭУ, ГЭС и др.) эффективность сильно зависит от места установки. Например, в Калининградской области ветроэнергетический потенциал территории достигает 1100 МВт, однако даже в таком небольшом регионе удельная мощность ветра может различаться в разы, в связи с чем установка ВЭУ может быть рекомендована только в прибрежной зоне ветровой активности, где удельная мощность ветра составляет 600—700 Вт/м^2 (рис. 2) [7]. При определении эффективности СЭС важно учитывать уровень солнечной радиации в месте установки, и если для

небольших регионов он меняется незначительно, то в масштабе страны или протяженных с севера на юг регионов изменения куда более существенны (рис. 3) [8]. Аналогичные параметры должны учитываться при размещении мини-ГЭС, приливных и геотермальных электростанций.

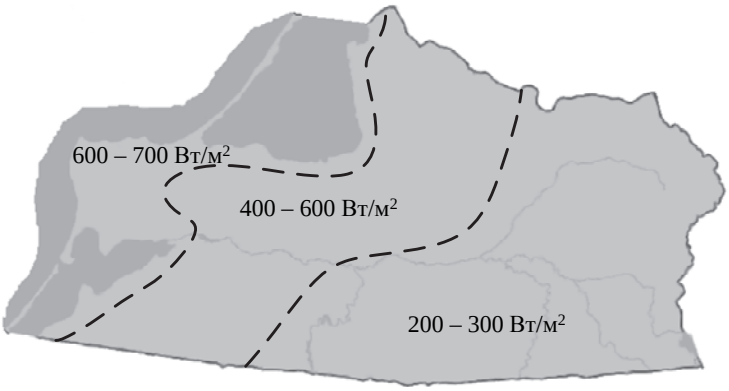


Рис. 2. Схема распределения ветровых ресурсов Калининградской области

Рис. 3. Схема распределения суммарной солнечной радиации по территории Российской Федерации [8]

На основе вышесказанного можно определить целевые функции проблемы размещения объектов РГЭ: уровень прибыли энергоснабжающей организации, суммарные потери электроэнергии, стабильность уровней напряжения, величина перетоков по связям и токов короткого замыкания.

Система ограничений включает обеспечение заданного графика потребления энергии, резервирование, технические характеристики оборудования (эффективность, надежность, график и стоимость ремонтов и др.), требования нормативных документов по проектированию и размещению объектов РГЭ, доступность топлива и возобновляемых источников энергии на территории.

Для релевантного моделирования проблемы размещения объектов РГЭ необходимы детерминированные, статистические, символьные, логические и лингвистические переменные [9]. Таким образом, проблема размещения объектов РГЭ — многокритериальная неоднородная задача оптимизации (рис. 4).

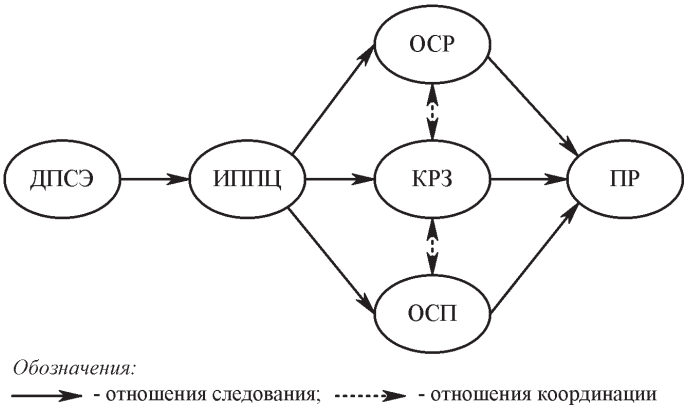


Рис. 4. Отношения задач проблемы размещения объектов РГЭ

В ее составе выделяются следующие группы задач:

1. Долгосрочное прогнозирование спроса на электроэнергию (ДПСЭ); на основе имеющихся заявок на подключение и прогнозов развития отдельных районов строятся долгосрочные прогнозы потребления электроэнергии в целом по региону и отдельным районам.

2. Идентификация проблемных питающих центров (ИППЦ) и требуемых сценариев работы объектов распределенной генерации; на основе долгосрочного прогноза спроса на электроэнергию, текущего состояния электросети и планов по вводу новых мощностей прогнозируется нагрузка питающих центров в аварийных режимах и основные оптимизируемые параметры электросети; выявляется множество узлов электросети, в которых целесообразно размещение объектов РГЭ.

3. Определение состава объектов РГЭ на основе оценки их рентабельности (ОСР); для каждого проблемного узла определяется один или несколько объектов РГЭ, обеспечивающих необходимую генерируемую мощность, и оценивается рентабельность каждого объекта в отдельности и суммарная рентабельность всех объектов.

4. Определение состава объектов РГЭ на основе оценки их влияния на параметры электросети (ОСП); для каждого проблемного узла устанавливается один или несколько объектов РГЭ, обеспечивающих необходимую генерируемую мощность и параметры электросети.

5. Координация решения задач (КРЗ); координация промежуточных решений и интеграции частных решений задач.

6. Выбор альтернативы и принятие решения (ПР); для каждой альтернативы размещения множества объектов РГЭ вычисляются значения целевых функций, выполняется выбор одной из них.

Как показано в [10], задачам с таким разнообразием классов переменных нерелевантны методы решения в рамках какой-либо одной технологии искусственного интеллекта и необходимо привлечение методов гибридного и синергетического искусственного интеллекта. Знания в этой области изучены, обобщены и опубликованы в работах А. Н. Борисова, А. В. Гаврилова, В. Ф. Пономарева, А. В. Колесникова, Д. А. Поспелова, В. Н. Вагина, А. П. Еремеева, Г. В. Рыбиной, В. Б. Тарасова, Н. Г. Ярушкиной, С. Гунэтилэйка, С. Кхеббала.

Концепция интеграции разнородных, дополняющих друг друга знаний в интересах компьютерной поддержки индивидуальных решений воплотилась в гибридных интеллектуальных системах А. В. Колесникова [9]. Их существенный методологический недостаток — зависимость успешности решения проблемы от качества заменяющей ее системы задач и качества функционально соотнесенного с ними поля-множества моделей, над которым синтезируется интегрированный метод. Преодолеть этот недостаток предлагается сочетанием аппарата многоагентных систем в смысле В. Б. Тарасова [11] и комбинирования методик гетерогенного мышления: расходящегося, безоценочного восприятия проблемной ситуации и сходящегося мышления, обдумывания и уточнения С. Кейнера [12], параллельного мышления, конструирования решений из поля параллельно существующих возможностей Э. де Боно [13] для развития и компьютерного моделирования и поддержки межличностного интеллекта в смысле Г. Гарднера [14] и динамики групповой работы сотрудничающих агентов, что релевантно воссоздает обслуживающую задачу в контексте проблемной ситуации с недостаточно выявленными или обнаруженными условиями и с неопределенной целью. Результатом должен стать новый класс интеллектуальных информационных систем — гибридные интеллектуальные многоагентные системы гетерогенного мышления.

2. Модель гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления для выбора месторасположения и состава объектов малой генерации

Гибридные интеллектуальные многоагентные системы (ГиИМАС) — гибридные интеллектуальные системы (ГиИС), осуществляющие многоагентный подход [10]. Элементы таких ГиИС реализуются в виде агентов, обладающих свойством автономности [11]. Как и многоагентные системы (МАС), они моделируют взаимодействия автономных агентов между собой и с внешней средой, в результате которых архитектура системы может динамически перестраиваться в соответствии с конкретными функциями (ролями) агентов и установившимися отношениями между ними. В результате ГиИМАС сочетают в себе положительные стороны ГиИС и МАС: благодаря сочетанию не-

скольких методов искусственного интеллекта, они релевантны задачам с высокой сложностью моделирования [10]; за счет имитации взаимодействия экспертов и возникающих при этом коллективных процессов они способны менять свою архитектуру для достижения синергетического эффекта, т. е. нахождения более качественных решений, чем могли бы найти агенты, работающие порознь.

Для компьютерного моделирования гетерогенного мышления в малом коллективе экспертов предлагается функциональная структура гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления (ГИМСГМ), представленная на рисунке 5. Данная структура — ГиИМАС [10], расширенная агентом-фасилитатором, организующим коллективные процессы, и соответствующими отношениями между ним и агентами подсистемы решения задачи.

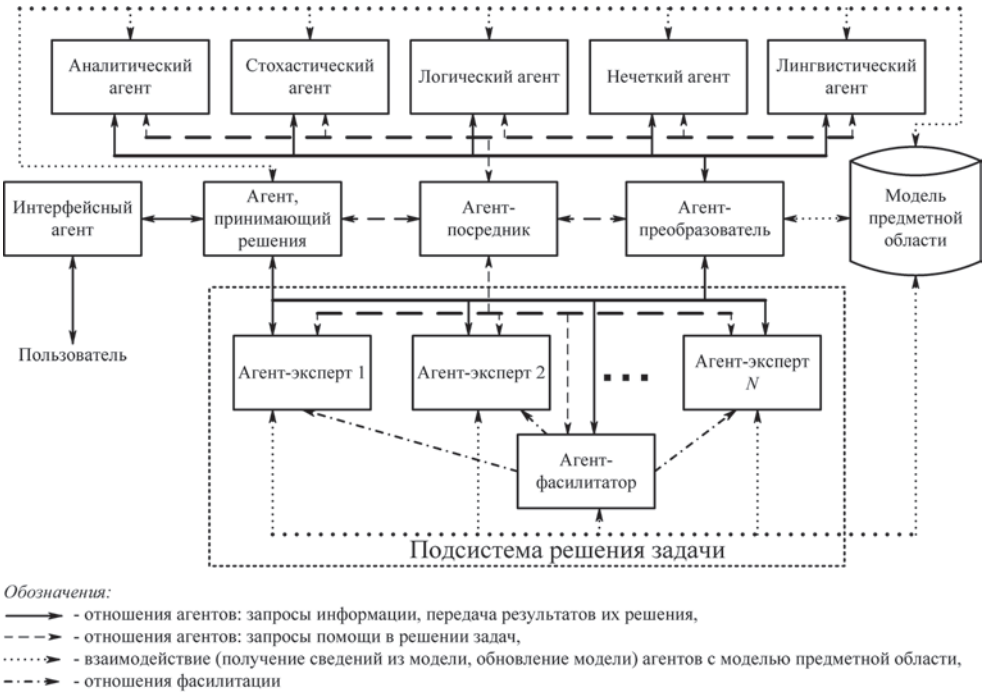


Рис. 5. Функциональная структура гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления

Рассмотрим назначение ее агентов:

1) интерфейсный агент запрашивает входные данные и выдает результат, а также визуализирует информацию о текущем состоянии решения проблемы и возникающих в системе коллективных эффектах;

2) агент, принимающий решения, рассылает агентам-экспертам условия задачи. Когда последние решили свои задачи, он проверяет, достигнут ли критерий останова, например заданное число итераций или требуемое каче-

ство решения. Если критерий достигнут, он выбирает альтернативу, т. е. решает задачу ПР и передает интерфейсному агенту, в противном случае запускает новую итерацию процесса решения проблемы, при необходимости рассылая агентам-экспертам решения, полученные на предшествующих итерациях для доработки, или меняя условия решаемых экспертами задач, т. е. решает также задачу КРЗ;

3) агенты-эксперты, имея знания о соответствующей своей «специальности» предметной области и моделируя определенный вид мышления, решают задачи из групп ДПСЭ, ИППЦ, ОСП, ОСР;

4) агент-фасилитатор отвечает за организацию эффективной коллективной работы агентов: идентифицирует этапы процесса решения проблемы, сложившуюся ситуацию в ГИМСГМ, возникающие положительные и отрицательные групповые эффекты, воздействует на агентов-экспертов, чтобы активировать релевантный ситуации «стиль мышления», минимизировать отрицательные эффекты и усилить положительные, используя, среди прочего, модель «ромба группового принятия решений» [12];

5) агент-посредник отслеживает имена, модели и возможности зарегистрированных агентов интеллектуальных технологий (решателей): аналитического, статистического, логического, нечеткого и лингвистического. Агенты обращаются к нему, чтобы узнать, какой из решателей может помочь в поставленной перед ними подзадачи;

6) агенты-решатели в верхней части рисунка 5 вместе с агентом-преобразователем реализуют гибридную составляющую ГИМСГМ, комбинируя разнородные знания, и предоставляют «услуги» агентам с использованием моделей и алгоритмов: алгебраических уравнений для описания причинно-следственных связей концептов предметной области; метода Монте-Карло; продукционной экспертной системы с рассуждениями в прямом направлении; нечеткого вывода Мамдани;

7) модель предметной области — семантическая сеть, основа взаимодействия агентов, строится по концептуальной модели решаемой задачи. Агенты интерпретируют семантику получаемых сообщений с использованием этой модели.

Предлагаемый класс ГИМСГМ как искусственный коллективный интеллект — синергия методов гибридных интеллектуальных систем, агентно-ориентированного подхода, методов диалогического направления организационного развития [15—17]. Данный класс обеспечивает комбинирование репрезентации неоднородной функциональной структуры сложной задачи (проблемы), с гетерогенным коллективным мышлением интеллектуальных агентов, что создает условия решать проблемы без упрощения и идеализации в условиях динамической среды.

ГИМСГМ по аналогии с многоагентными системами обладают высокой гибкостью, могут быть дополнены и модифицированы, устойчивы к сбоям, благодаря достаточному запасу компонентов и самоорганизации, имеют развитые возможности и средства адаптации к изменениям среды, в том числе

путем модификации своей структуры и параметров. Применение ГИМСГМ в виртуальных коллективах, когда искусственные интеллектуальные агенты работают совместно с реальными экспертами, позволит поддерживать совместное принятие решений в смысле С. Кейнера и повышать групповую эффективность: качество решений; ответственность за принимаемые решения; значительно сокращать время реализации решений; улучшать отношения в группе; усиливать личную удовлетворенность участников; способствовать организационному обучению.

Заключение

В работе рассмотрено общее описание проблемы размещения объектов малой генерации в энергосистемах с распределенной генерацией электроэнергии. Ввиду неоднородного характера этой проблемы в настоящее время она решается малыми коллективами экспертов. Предложен новый класс интеллектуальных систем — ГИМСГМ, релевантный реальным коллективам экспертов и возникающим в них групповым эффектам.

Предлагаемый класс ГИМСГМ перемещает имитацию коллективной работы в область синергетической информатики, когда для получения результата большего, чем сумма работ, выполняемых индивидуально отдельными агентами, необходимо их взаимодействие. Это приводит к самоорганизующимся, социальным моделям управления, каждый элемент которых развивается, получая данные и знания от других элементов, что снижает затраты на разработку и эксплуатацию таких систем.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-07-00448а.

Список литературы

1. *Стенников В.А., Воропай Н.И.* Централизованная и распределенная генерация — не альтернатива, а интеграция. URL: http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf.

2. *Ackermann T., Anderson G., Soeder L.* Distributed generation: a definition // Electric Power Systems Research. 2001. Vol. 57. P.195—204.

3. *Чечушков Д.А., Паниковская Т.Ю.* Оптимизация размещения источников распределенной генерации. URL: http://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/12913/1/eee_2013_26.pdf.

4. *Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А.* Оценка эффективности работы установок распределенной генерации // Электроэнергетика глазами молодежи : научные труды международной научно-технической конференции : сборник статей : в 3 т. Самара : СамГТУ, 2011. Т. 1. С. 407—412.

5. *Догадкин Д., Смирнов А., Скупов Д.* Построение системы управления объектами распределенной генерации электрических сетей ОАО «МОЭСК» для обеспечения разгрузки питающих центров // Электроэнергия. 2015. № 2(29). С. 44—46.

6. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2018—2022 годы. URL: https://docs.google.com/viewer?url=http://infrastruktura39.ru/upload/СиПРЭ%20КО%20на%202018-2022.pdf%3fignoreRedirect=Y.

7. *Белей В.Ф.* Электроэнергетика Калининградской области и стран Балтии: анализ некоторых вариантов развития // Электрика. 2009. № 12. С. 3—7.

8. Суммарная солнечная радиация. URL: https://geographyofrussia.com/summarnaya-solnechnaya-radiaciya/.

9. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.

10. *Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. и др.* Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / под ред. А.В. Колесникова. М. : ИПИ РАН, 2011.

11. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

12. *Кейнер С., Линд Л., Толди К. и др.* Руководство фасилитатора: как привести группу к принятию совместного решения. М. : Изд-во Дмитрия Лазарева, 2014.

13. *Боно Э.* Параллельное мышление. От сократовского мышления к дебоновскому. Минск : Попурри, 2007.

14. *Gardner H.* Multiple Intelligences — The Theory in Practice. N. Y. : Basic Books, 1993.

15. *Rough J.* Society's Breakthrough! Bloomington : Jim Rough, 2002.

16. *Spencer L.J.* Winning Through Participation: Meeting the Challenge of Corporate Change With the Technology of Participation. Dubuque : Kendall, Hunt Publishing Company, 1989.

17. *Оуэн Х.* Технология Открытое пространство. Новосибирск : Изд-во Art-Avenue, 2008.

Г.С. Малтугуева[1], А.Ю. Юрин[2]

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, г. Иркутск, Россия

e-mail: [1]gama@icc.ru, [2]iskander@icc.ru

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «ВЫБОР+»

Введение

Многообразие сложных задач поддержки принятия решений при обработке информации и выработке управляющих воздействий обусловливает востребованность специального математического, алгоритмического и программного обеспечения, повышающего эффективность процесса поддержки принятия решений. Трудоемкость данного процесса возрастает, если он связан с обобщением информации относительно совокупности разнородных свойств объектов, полученных в ходе индивидуальной или коллективной работы.

В работе рассматривается задача группового многокритериального упорядочивания всех вариантов в условиях определенности, которая позволяет также решать и задачу выбора лучшего варианта. При этом допускается любая форма представления индивидуальных предпочтений: числовые/вербальные оценки, ранжировки вариантов, числовые/вербальные парные сравнения. В литературе описаны разнообразные методы решения таких задач,

© Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю., 2018

наиболее известны: методы свертки (аддитивная, мультипликативная), методы вербального анализа решений, методы аналитической иерархии, методы пороговой предпочтительности, голосование, многоуровневое анкетирование, переговоры и т. д. Для эффективного применения большинства из них требуется определение единого способа представления индивидуальных предпочтений, представление индивидуальных предпочтений в числовом виде, публичное высказывание и обоснование своей точки зрения каждым членом коллектива, постоянное обсуждение и обмен мнениями, что не всегда возможно. Отметим, что для принятия решений немаловажную роль играет обоснование полученного результата, которое должно оказать поддержку лицу, принимающему решение.

Эффективность применения методов решения задач может быть повышена специальным программным обеспечением. В рамках автоматизации процесса решения задач многокритериального принятия решений разработаны такие программные средства, как СППР «Выбор», «СВИРЬ», СППР «Консилиум», «Оценка и Выбор», ГАС «Выборы», «Общий мозг», «СИВКА», «Бурка», DASS и др. [1—2]), обеспечивающие обработку больших объемов данных и сравнение результатов, полученных различными методами. Отметим, что успешное применение подобных программных систем и методов требует от пользователя, который не всегда специалист в области принятия решений, знаний о корректном представлении входных данных и их интерпретации. В большинстве информационных систем реализован единственный метод решения задачи.

Помимо сложностей, возникающих в процесс решения задач принятия решений, перед лицом, принимающим решение (ЛПР), возникает задача подбора метода, применимого к решению поставленной задачи, и обоснование полученного результата. При подборе методов ЛПР должен учитывать весь имеющийся опыт применения различных методов, их ограничения и возможные парадоксы. Отметим, что в литературе отсутствует описание методов и подходов к автоматизации подбора методов для решения задач многокритериального принятия решений в условиях определенности.

Таким образом, несмотря на разработку и исследование разнообразных методов принятия решений, проблема создания эффективного способа решения задачи группового многокритериального выбора лучшего варианта и упорядочивания всех вариантов в условиях определенности, позволяющего одновременно обрабатывать индивидуальные предпочтения различного вида, и его программная реализация *остаются актуальными*.

СППР «Выбор+» — программное средство, предназначенное для решения задачи группового многокритериального выбора в условиях определенности. В рамках программной системы реализованы: многометодный подход к решению задачи группового многокритериального упорядочивания и выбора в условиях определенности, методика подбора метода, применимого к решению рассматриваемой задачи. Многометодный подход основан на методах,

базирующихся на теории мультимножеств, что позволяет одновременно с решением задачи формулировать обоснование для лица, принимающего решение. Задача подбора метода решения основана на прецедентном подходе, который позволяет использовать накопленный опыт решения схожих задач.

1. Алгоритмы СППР «Выбор+»

Алгоритмы, реализованные в программной системе, разработаны исходя из формализованной задачи принятия решений, которая в общем виде представляется кортежем

$$T=<A, C, X, E, IP>,$$

где T — задача принятия решений; $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$, $n > 1$ — конечное, заранее заданное множество вариантов, не изменяющееся в процессе решения задачи; $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_m\}$, $m > 1$ — конечное, согласованное со всеми заинтересованными сторонами множество оцениваемых характеристик вариантов — критериев; $X = \{X_1, X_2, \ldots, X_m\}$ — заранее определенные шкалы оценивания по каждому из критериев, применяются в случае представления индивидуальных предпочтений в виде оценок и парных сравнений; $E = \{E_1, E_2, \ldots, E_k\}$, $k > 0$ — лицо, принимающее решение, или группа заинтересованных лиц, участвующих в процессе принятия решения, — экспертов; $IP = \{IP^1, IP^2, \ldots, IP^k\}$ — профиль индивидуальных предпочтений, которые могут быть представлены в любой из форм: оценки (количественные, качественные), упорядочения вариантов, парные сравнения (числовые, вербальные значения).

Решение поставленной задачи может быть осуществлено разнообразными методами, каждый из которых реализует оператор преобразования $F : T \rightarrow AP$, где F — метод решения задачи; AP — совокупность пар вариантов и их агрегированных оценок $AP = \{(A_i : f^{agg}(A_i))\}$. Всё многообразие методов решения задач многокритериального выбора в условиях определенности можно представить в виде множества операторов отображения $F=(F_1,F_2,\ldots,F_l)$, $l>1$. Для решения зачастую применимы несколько методов, поэтому лицу, принимающему решение, необходимо знать область их применимости, недостатки для выбора наиболее адекватного метода для решения конкретной задачи.

Задачу подбора метода решения можно представить в виде оператора отображения $S : T \times F \rightarrow (F_1, F_2, \ldots, F_s)$, $s < l$, в результате выполнения которого будет сформировано подмножество множества существующих методов решения задачи принятия решений, будет сформирован перечень методов, применимых к решению указанной задачи.

Для решения задачи группового многокритериального выбора предлагается разработать многометодную схему, которая позволит одновременно обрабатывать разные формы представления индивидуальных предпочтений экспертов.

В литературе [3—5] описаны следующие методы решения задач группового многокритериального выбора: метод усреднения оценок, метод адди-

тивной свертки, метод групповой аналитической иерархии, РАМПА, ТОПСИС, АРАМИС, АИР, МОПС. Все эти методы можно разбить по двум классификационным признакам: вид входных данных — ранжировки (метод АИР), парные сравнения (РАМПА, МОПС), оценки (метод усреднения оценок, метод аддитивной свертки, метод групповой аналитической иерархии, ТОПСИС, АРАМИС); форма представления индивидуальных предпочтений — векторы оценок (метод усреднения оценок, метод аддитивной свертки, ТОПСИС), матрицы оценок (метод групповой аналитической иерархии, РАМПА), мультимножества (АРАИС, АИР, МОПС).

В рамках аппарата мультимножеств для решения задачи группового многокритериального выбора известны методы обработки всех распространенных видов представления индивидуальных предпочтений. На их основе издан многометодный подход к решению задачи, схема которого приведена на рисунке 1.

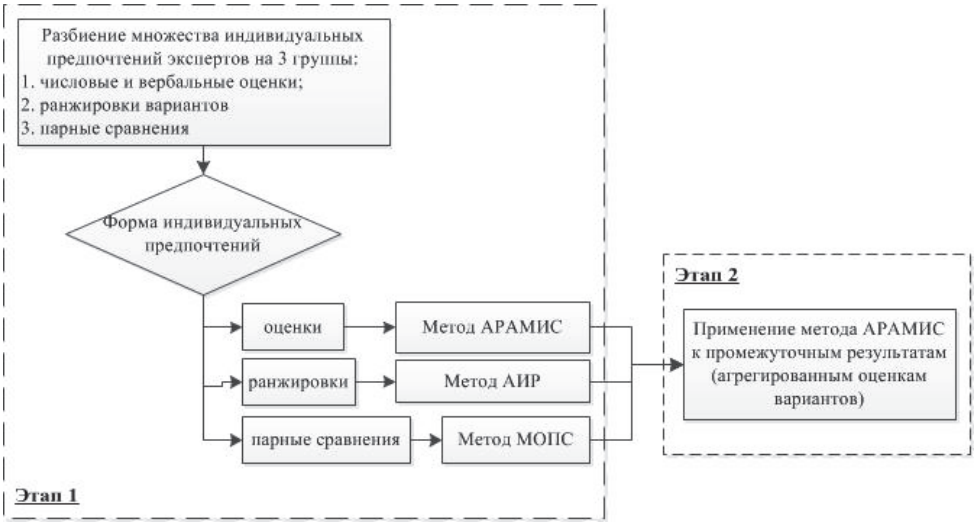


Рис. 1. Схема многометодного подхода

При подборе методов, применимых к решению конкретной задачи, ЛПР привлекает не только свои знания, но и опыт решения схожих задач. Однако ни один известный метод принятия решений не позволяет использовать информацию такого вида.

Поддержка подбора (выбора) соответствующих решаемым задачам методов в разных областях — актуальная проблема, для решения которой применяются различные подходы, в том числе и методы искусственного интеллекта. Наиболее известна идентификация. Так, в работе [6] идентификацией определяется класс текущей задачи оптимального управления, а каждому классу сопоставлен набор методов решения. В работе [7] предложен подход к интеллектуализации решения одного класса задач оптимального управления

логическими правилами, в том числе реализован метод выбора начального приближения управления и начального метода решения на основе вида задачи. В [8] приведено описание использования онтологий для анализе информации об экспертных предпочтениях и критериях, с последующим определением класса применимых методов.

Поскольку выбор методов в большинстве случаев осуществляется на основе знаний и опыта ЛПР, в том числе в форме примеров ранее решенных задач, то для решения данной задачи предлагается применить прецедентный подход (принятие решений «по аналогии», Case-Based Reasoning) [9], что позволит не только накапливать информацию о решенных задачах, но и использовать эти знания при решении последующих задач, формируя не только базу решенных задач, но и базу паспортов методов.

Основное понятие CBR-методологии — *прецедент* — структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку при помощи специализированных программных систем. Как правило, прецедент состоит из описания проблемной ситуации и совокупности действий, предпринимаемых для устранения данной проблемной ситуации (ее решения) [10].

В нашем случае прецедент P_i — структурированное описание ранее решенной задачи: P_i=<*«Описание»; «Решение»*>, где блок *«Описание»* содержит структурированное описание решаемой задачи в соответствии с классификационными признаками задач принятия решений (табл.)

Блок «описание» прецедента задачи

Описание	
Название характеристики	*Допустимые значения*
количество вариантов	*натуральное число*
число экспертов	*натуральное число*
вид показателя эффективности	*скалярный, векторный*
вид информации	*количественная, качественная, смешанная*
вид окончательного решения	*лучший вариант, упорядочение вариантов, классификация вариантов*
Множество вариантов	*Набор всех рассматриваемых вариантов решения задачи*
Множество критериев	*совокупность параметров оценки вариантов*
Множество индивидуальных предпочтений	*профиль всех экспертных суждений*
Решение	
Метод решения	*название метода*
Результат	*результат применения метода*
Выбор ЛПР	*результат, выбранный ЛПР*

Процесс принятия решений на основе прецедентов в большинстве случаев представляют в виде последовательности этапов (рис. 2) [11].

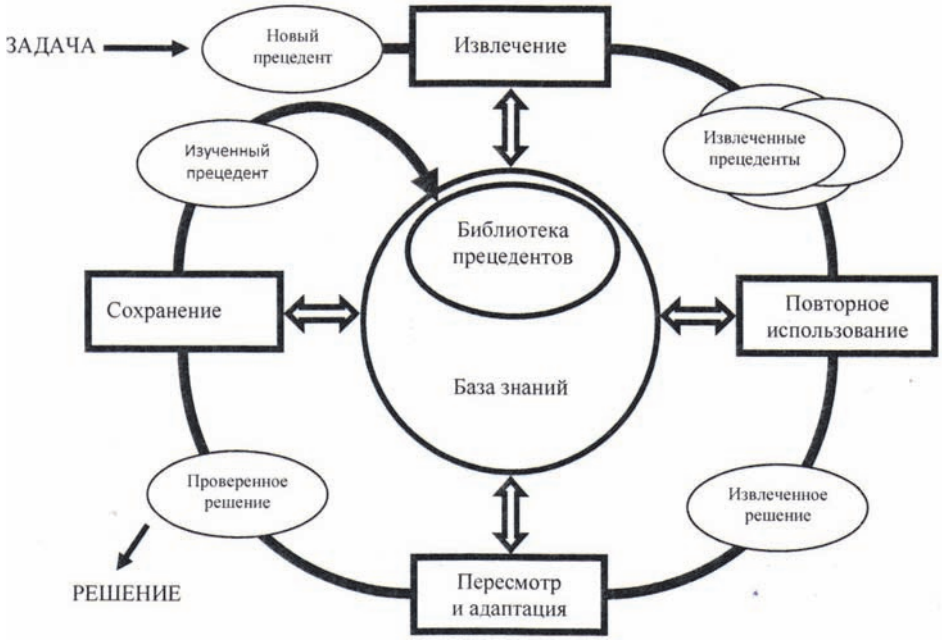


Рис. 2. Схема принятия решений по прецедентам

Этап «Извлечения» — основной для решения задачи подбора методов решения задачи многокритериального выбора, в результате выполнения которого лицу, принимающему решение, должен быть предоставлен перечень методов, применимых к решению конкретной задачи. Для этого в базе прецедентов, описывающих ранее решенные задачи: P_j = <*«Описание»; «Решение»*>, $j = \overline{1, p}$, необходимо вычислить оценку близости $\nu_j = d(T, P_j)$, $j = \overline{1, p}$, ν_j = [0..1]. На основе значений оценок близости формируется список методов, которые были использованы для решения задач, подобных рассматриваемой — извлекаются прецеденты-аналоги, имеющие высокое значение оценки близости ($\nu_j > 0{,}5$).

2. Архитектура и модули СППР «Выбор+»

С целью повышения эффективности и уровня применения предложенного многометодного подхода к решению задач группового многокритериального выбора и к подбору метода решения практических задач выбора предлагается реализовать его в виде интеллектуальной системы поддержки принятия решений «Выбор+». Архитектура ИСППР, реализующей предложенный многометодный подход к решению задач выбора, представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Архитектура ИСППР

Главные функции программной системы, составляющие основные этапы решения задач выбора: описание возможных вариантов решения, критериев оценки, включая шкалы оценивания; описание индивидуальных предпочтений с возможностью выбора любой формы представления — оценки (числовые, вербальные), ранжировки, парные сравнения (числовые, вербальные значения); решение задач выбор (в настоящее время реализованы методы решения задач группового многокритериального выбора, методы свертки для решения задач многокритериального выбора, процедуры голосования для решения зада группового выбора); отображение результатов.

Работа пользователя с СППР выполняется по следующей схеме: 1) ввод входных данных (варианты, критерии, шкалы оценивания, экспертные мнения — индивидуальные предпочтения); 2) поиск решений выбранными методами в ручном или в автоматизированном режиме; 3) просмотр результатов; 4) генерация отчета.

В настоящее время ИСПППР «Выбор+» находится в стадии тестирования исследовательской версии.

Заключение

В работе приведено описание алгоритмического обеспечения, реализованного в ИСППР «Выбор+», которое обеспечивает подбор методов решения задачи многокритериального выбора, а также решение задачи группового многокритериального выбора независимо от вида представления индивидуальных предпочтений: оценки, ранжировки, парные сравнения.

Таким образом, в данной работе предлагается (улучшенная, усовершенствованная, модифицированная) многометодная процедура принятия решений, которая: обеспечивает решение хорошо- и слабоструктурированных задач многокритериального выбора и упорядочения вариантов, в которых индивидуальные предпочтения могут быть представлены в любой форме (числовые/вербальные оценки, ранжировки вариантов, парные сравнения), благодаря расширяемом набору методов; предусматривает возможность подбора методов решения с помощью принципов прецедентного подхода, в частности, на основе оценки меры близости описания текущей задачи и описаний ранее разрешенных задач.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №18-08-00560, №17-07-00512).

Список литературы

1. *Подиновский В.В.* Анализ задач многокритериального выбора методами теории важности критериев при помощи компьютерных систем поддержки принятия решений // Известия РАН: Теория и системы управления. 2008. №2. С. 64—68.

2. *Микони С.В., Бураков Д.П., Гарина М.И.* Реконфигурируемая инструментальная среда «СВИРЬ» // Материалы XI конф. «Региональная информатика-2008», 22—25.10.2008. СПб. : Политехника, 2008. С. 189—190.

3. *Петровский А.Б.* Теория принятия решений. М. : Академия, 2009.

4. *Малтугуева Г.С., Петровский А.Б.* Многометодное групповое многокритериальное оценивание экологически мероприятий // Шестая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (15—20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия) : тр. конф. : в 2 т. М. : ИСА РАН, 2015. Т. 2. С. 72—80.

5. *Малтугуева Г.С., Петровский А.Б.* Метод обработки парных сравнений вариантов, описанных мультимножествами // Труды IV Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Информатика, управление и системный анализ». Тверь : Твер. гос. техн. ун-т, 2016. Т. 1. С. 160—170.

6. *Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С.* Разработка информационно-вычислительной системы для экспертной поддержки пользователей математических пакетов при численном решении задач оптимального управления // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2006. №4. С. 114—119.

7. *Маджара Т.И.* Автоматизированная система решения задач оптимального управления ОПТ/1 // «Навигация и управление движением» : материалы докладов IV конференции молодых ученых. Санкт-Петербург, 12 марта-30 ноября 2002 г. / под общ. ред. В.Г. Пешехонова. СПб. : ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2002. С. 31—38.

8. *Садовникова Н. П., Львова Ю. С., Гнедкова Е. П.* Особенности выбора методов поддержки принятия решений в задачах обеспечения экологической безопасности развития городских территорий. URL: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadovnikova-LvovaGnedkova-2012_7%2821%29.pdf.

9. *Aamodt A., Plaza E.* Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. 1994. №7(1). P. 39—59.

10. *Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 5. С. 3—12.

11. *Варшавский П.Р., Еремеев А.П.* Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятия решений . 2009. № 2. С. 45—47.

Г.М. Новикова
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
e-mail: novikova_gm@mail.ru

ГИБРИДНАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ

Введение

Совершенствование системы управления, развитие информационной поддержки менеджмента неразрывно связаны со стандартизацией процессов управления. Функционирование современного предприятия сегодня невозможно без включения в систему управления системы менеджмента качества (СМК), в основе которой лежит серия стандартов ISO 9000:2000, включающая основные положения и требования к системе менеджмента качества (ISO 9000, ISO 9001), а также директивы по улучшению деятельности предприятия (ISO 9004) [1]. Корни этой системы лежат в корпоративном духе японского предприятия середины прошлого века, когда рядовой сотрудник, увидев возможность улучшить деятельность предприятия, мог без стеснения обратиться к начальнику, высказать свое мнение, показать место и способ улучшения и повышения эффективности работы. Не случайно то, что А. Фейгенбаум — основатель теории Total Quality Management (TQM) — всеобщего менеджмента качества, Эдвард Деминг — американский ученый, статистик и консультант по менеджменту, добавивший в теорию СМК такой важный фактор, как процессный подход к управлению, работали в Японии и наблюдали за коллективной деятельностью на японских предприятиях. Сегодня совершенствование системы управления предприятием состоит в создании гибридной интеллектуальной системы, которая вовлекает в деятельность СМК не только персонал предприятия, но и корпоративную инфокоммуникационную систему, реализующую методы и технологии искусственного интеллекта (ИИ).

1. Место гибридного интеллекта в СМК организации

Согласно теории всеобщего качества (TQM), качество продукции поздно контролировать, когда продукция уже произведена. Качество продукции определяют: качественные процессы; качественные материально-технические ресурсы и основные средства; качественные технологии; качественный персонал и т. д.

© Новикова Г. М., 2018

Важнейшее условие эффективно работающей СМК — работа с записями по качеству и выработка и реализация на их основе предупреждающих и корректирующих воздействий. В то же время принятие решений на основе фактов требует наличие совершенных инструментов, осуществляющих: сбор записей качества; обработку записей качества; извлечение знаний из записей качества.

Возрастание объемов обрабатываемой информации, усиление требований к оперативности и качеству принятия решений, необходимость в механизмах, адаптирующих деятельность предприятия к изменениям внутренней и внешней среды, требует создания гибридной интеллектуальной системы [2], которая в едином информационном пространстве интегрирует деятельность и качество искусственного и естественного интеллекта для совершенствования деятельности корпорации.

Понятие «гибридный интеллект» имеет разные определения и интерпретации, а также различные сферы применения. Развитие и трансформация этого понятия определялась как новыми задачами и тенденциями в области ИИ, так и разработкой и внедрением новых инженерных, информационных и телекоммуникационных технологий. Например, в проекте Cindicato [3] используется парадигма «мудрость толпы + искусственный интеллект = гибридный интеллект» и назначение таких систем для прогнозирования поведения рынка в условиях неопределенности. Роли в системе распределены так, что ИИ оценивает точность прогнозов аналитиков и динамически изменяет им коэффициент доверия, тогда как аналитики прогнозируют изменения рынка.

Задачи гибридной интеллектуальной системы в СМК предприятия (ГИС СМК) можно рассматривать гораздо шире (рис.). С одной стороны, это автоматизация процессов сбора и обработки записей по качеству, выработки предупреждающих и корректирующих воздействий. В то же время ИИ может сам вырабатывать записи по качеству. Например, фиксирование отклонений при работе бизнес-процессов или при оценке значений плановых и фактических показателей. И здесь уже человек может выступать экспертом, оценивающим эффективность работы ИИ и определяющим необходимость изменения настроек в выработке записей по качеству.

Рис. Функциональность гибридной интеллектуальной системы менеджмента качества

Однако наиболее весомой функцией ИИ в ГИС СМК должно стать извлечение знаний из записей по качеству и адаптация настроек системы за счет механизма самообучения. Действительно, записи качества представляют собой корпус, обрабатывая которые можно извлечь причинно-следственные связи. Сегодня работы в области data mining и deep learning открывают новые страницы в технологиях создания ИИ. Вместе с тем будем придерживаться старого подхода, при котором наша цель не обучить ИИ решению задач, вытесняющих человека из контура управления, а сделать ИИ помощником человека, повышающим эффективность его труда при решении задач управления. При этом функция извлечения знаний, выявления причинно-следственных связей направлена на совершенствование базы знаний ГИС СМК, а механизм обучения, как уже сказано, нацелен на адаптацию системы к состоянию предметной области и критериям оптимизации.

2. Краудсорсинговая платформа как среда создания ГИС СМК

Сегодня активно ведутся работы по созданию краудсорсинговых платформ, причем существует как разное понимание поддерживаемой ими функциональности, так и разные области их применения. Согласно определению краудсорсинг (crowd — «толпа», sourcing — «использование ресурсов») представляет собой привлечение на добровольных началах к решению тех или иных проблем широкого круга лиц для использования их творческих способностей, знаний и опыта с применением инфокоммуникационных технологий. В основе первых краудсорсинговых платформ лежали оценочные задачи: оценка качества продукта или контента, онлайн-рецензирования. В настоящее время краудсорсинг используется для решения задач классификации, распознавания, построения онтологий и интеграции данных. Существуют инструментальные средства для создания краудсорсинговых платформ. Одна из самых популярных платформ — Amazon Mechanical Turk, место, где провайдеры (заявители) предлагают небольшое денежное вознаграждение людям (работникам / экспертам) в обмен на выполнение одной или нескольких небольших, так называемых микрозадач [4].

Краудсорсинговая платформа, лежащая в основе ГИС СМК, прежде всего выполняет функцию вовлечения всех сотрудников в управление предприятием, причем ИИ — часть краудсорсинговой платформы — осуществляет не только функцию коммуникации, но и функцию поддержки целостности единого информационного пространства, оценки участия сотрудников в работе СМК. С одной стороны, краудсорсинговая платформа — место встреч различных «экспертов»-сотрудников, вовлеченных в деятельность предприятия, с другой — место оценки деятельности «экспертам», которая на основе их действий ранжирует, определяет лучших, включает систему вознаграждений и т. д. И если краудсорсинговая платформа используется в СМК для совершенствования системы управления предприятия, то в то же время она должна самосовершенствоваться, улучшая, таким образом, работу самой системы менеджмента качества.

Важный вопрос — настройка краудсорсинговой платформы ГИС СМК. Платформа должна быть настроена на организационную структуру предприятия, на пороговые значения информации, которые можно отнести к свидетельству о возникновении события, инициирующего корректирующее и предупреждающее воздействие, учитывать доступ к информационным потокам, матрицу полномочий и ответственности и уровень принятия решений. Первоначально настройка значений имеет экспертную оценку, например экспертным путем определяется количество рекламаций, требующих воздействия, однако в дальнейшем именно ГИС СМК адаптирует настройку к реальным условиям внешней и внутренней среды.

Важна также настройка бонусной системы и системы оценки знаний экспертов. Открытая краудсорсинговая платформа может заменить проведение корпоративных мероприятий, в рамках которых выявляются те или иные качества персонала, создается синергетический эффект. Данные, которые сохраняет система о результатах и последствиях принятия решений, позволяют выстроить систему не только экспертной, но и бонусной оценки на основе начисления баллов за счет участия в работе СМК.

Заключение

Эффективность СМК предприятия во многом определяется степенью интеграции естественного и искусственного интеллекта в решение задачи совершенствования деятельности предприятия. Создание ГИС СМК в рамках корпоративной инфокоммуникационной системы позволяет говорить об интеллектуальной корпоративной системе управления [5], использующей интеллектуальные методы, модели и технологии при решении задач и выполнении функций корпоративного менеджмента. Модели и парадигмы гибридных человеко-машинных систем, лежащие в основе краудсорсинговой платформы ГИС СМК, направлены не только на поддержку коммуникации и сотрудничество в области СМК работников предприятия, но и создают гибридные рабочие процессы, реализующие сотрудничество и обмен знаниями естественного и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. *Новикова Г.М.* Интегрированная система менеджмента и стандарты управления (статья) // Газовая промышленность. 2005. № 9. С. 55—57.

2. *Клачек П.М., Корягин С.И., Колесников А.В. и др.* Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. Ч. 1 : Теория и технология разработки.

3. Гибридный интеллект для эффективного управления капиталом. URL: https://cindicator.com/.

4. *D.E. Difallah et al.* The Dynamics of Micro-Task Crowdsourcing —The Case of Amazon MTurk // Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web. ACM, 2015. P. 238—247.

5. *Новикова Г.М.* Интеллектуальные технологии в корпоративных системах управления // Двигатель. 2012. № 4. С. 58—59.

Г.М. Новикова[1], Ю.Д. Янко[2]
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
e-mail: [1]novikova_gm@mail.ru, [2]yanko.julia@yandex.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Введение

В современных условиях конкурентной борьбы, высокой динамики изменения параметров функционирования внешней и внутренней среды, возрастания потоков информации и задач, требующих принятия решений, важны не только скорость и своевременность принятия решений, но прежде всего их результативность, эффективность и качество. Решение может быть принято как одним человека, например генеральным директором, начальником отдела и т. д., так и группой людей: членами совета директоров, сотрудниками департамента или же вообще всеми работниками предприятия. Единоличное принятия решений, как правило, укоряет процесс, однако качество принятия решения полностью зависит от компетентности одного лица. В то же время существуют вопросы, решение по которым априори должно приниматься коллективно, причем такие решения могут касаться как деятельности и управления предприятием, так и вопросов управления общедомовой собственностью или выборов уполномоченных лиц на разных уровнях государственной власти. Развитие интеллектуальных, инфокоммуникационных, инженерных и цифровых технологий позволяет сегодня в режиме реального времени не только организовать процесс коллективного принятия решений путем голосования, но и провести системный анализ порождаемой в процессе голосования информации с целью последующего прогнозирования и выработки оптимальных управленческих решений. Сегодня существует немало средств, автоматизирующих процесс голосования, которые используются в органах государственной, в частности законодательной, власти [1]. Однако вопрос о создании удобного программного обеспечения, поддерживающего процедуру голосования в различных предметных областях, например при проведении собраний собственников жилых помещений или членов кооператива, при принятии коллективного решения в компаниях среднего и малого бизнеса остается открытым. Таким образом, разработка средств поддержки принятия коллективных решений, адаптируемых к любой предметной области и включающих средства интеллектуального анализа данных, — актуальная задача.

1. Способы и области принятия коллективных решений

Инструмент коллективного принятия решений — голосование. Главная задача голосования — выявление предпочтений голосующих. Вместе с тем

© Новикова Г. М., Янко Ю. Д., 2018

существуют и другие способы определения коллективного мнения, например анкетирование, опрос, тестирование и формирование рейтинга. Однако необходимо понимать разницу между опросом и голосованием. Если механизм выявления предпочтения у этих способов одинаков (выбор одного или нескольких вариантов ответов из предложенных вариантов решений), то цель, механизм определения участников процесса, способы обработки полученных результатов отличаются. Участники голосования определяются прежде всего вопросом (вопросами), по которому нужно принять решение. Если это цена товара, принимать решение (голосовать) может рынок, или процедура голосования представляет собой аукцион, на котором выявляется цена товара. Существуют вопросы, решение по которым может быть принято случайным образом, например жеребьевкой.

При коллективных решениях необходимо определить уровень принятия решений, множество лиц, участвующих в принятии решений, место принятия решений, множество вопросов, по которым принимается решение, множество вариантов решений и пороговые значения для принятия решений.

Уровень принятия решений и множество лиц, участвующих в голосовании (совет директоров, инвесторы, коллектив сотрудников, акционеры, собственники жилых помещений и т. д.), определяются вопросами, поставленными на голосование (рис.).

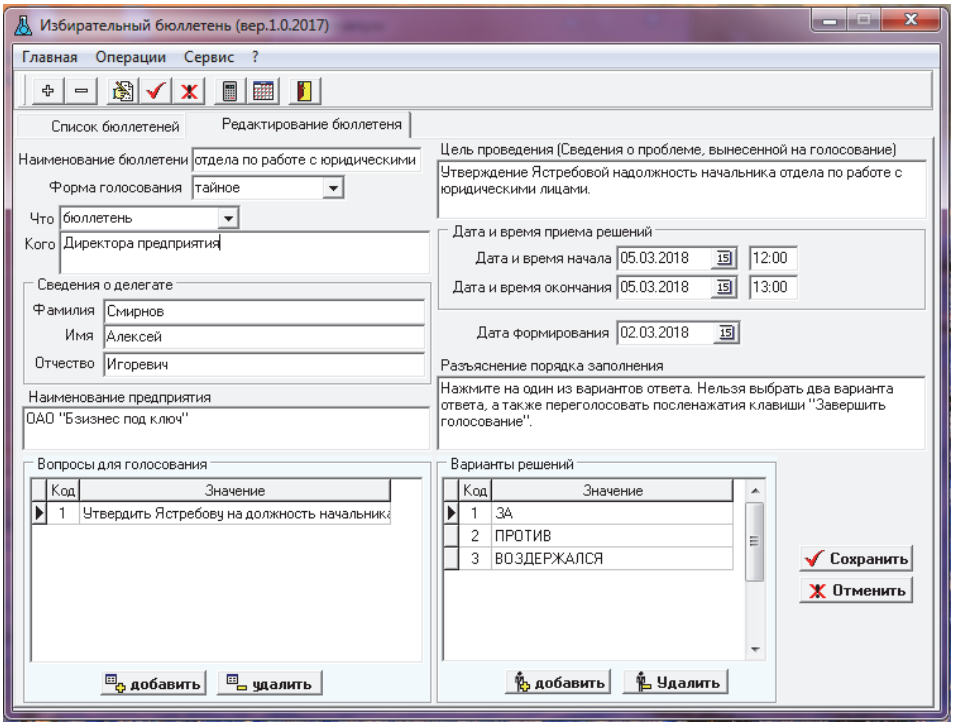


Рис. Окно системы «Избирательный бюллетень» для принятия кадрового решения

2. Задачи интеллектуальной среды для голосования

Наиболее распространенный способ принятия коллективного решения — проведение собрания, причем форма проведения может быть разной: очной, очно-заочной, заочной. Рассмотрим задачи интеллектуальной среды, поддерживающей процесс проведения собрания и принятия решений по результатам голосования.

Перечисленные выше параметры процесса голосования могут быть настроены автоматически, причем настройки могут изменяться в соответствии с правилами, составляющими базу знаний среды голосования. Например, при проведении собрания собственников в зависимости от вопросов, поставленных на голосование, решение принимается либо с порогом 1/2 либо 2/3.

Кроме того, интеллектуальная среда голосования должна автоматизировать: формирование документов, поддерживающих процесс голосования; процесс движения документов (документооборот процедуры голосования); настройку веса участника процесса голосования на основе компетенций или других характеристик; процесс прогнозирования результатов голосования; сбор информации для анализа результатов голосования.

Автоматизация формирования документов включает формирование таких документов, как: уведомление о проведении собрания (голосования); «бюллетень» для голосования, в случае проведения собрания собственников жилых помещений это «решение собственника», источник информации для формирования документа, с одной стороны, перечень вопросов, поставленных на голосование, с другой — данные, идентифицирующие участника собрания, а также данные о весе его голоса при принятии решений по вопросам повестки дня; протокол, содержащий информацию о результатах проведения собрания и принятия решения по каждому из вопросов, поставленных на голосование.

Документооборот процедуры голосования устанавливает маршрут движения документов, который настраивается правилами базы знаний [2]. База знаний также должна содержать информацию, позволяющую настроить вес участника голосования в зависимости от типа голосования, вопросов, поставленных на голосование, статуса голосующего. Вес может определять доля в уставном капитале, размер акций или площадь жилого помещения.

Анализ результатов голосования базируется на собранной информации, которые хранятся в хранилище данных. В то же время накопленная информация формирует корпус по разным предметным областям, который далее можно обрабатывать средствами data mining, извлекая знания (причинно-следственные связи) из собранных данных [3].

Необходимо отметить, что для голосования может использоваться интернет-портал, мобильное приложение, а также бумажный носитель (бюллетень/решение), причем в некоторых случаях при отсутствии электронной подписи дублирование информации на бумажном носителе обязательно.

Заключение

Создание и внедрение среды, автоматизирующей процесс голосования, в корпоративную инфокоммуникационную систему позволит сократить время принятия решений и повысит интеллектуальные свойства КИКС [4]. Такая система помимо автоматизации процесса обработки и подсчета голосов будет хранить данные, на основе которых можно строить статистику и анализировать ситуацию для принятия в будущем оптимальных решений. Использование среды для проведения собраний собственниками жилых помещений повысит эффективность и результативность принятия решений в сфере ЖКХ, а также степень участия собственников в управлении общедомовой собственностью и принятии оптимальность жизненно важных решений.

Список литературы

1. *Новикова Г.М.* Электронный документооборот как инструмент борьбы с бюрократией // Материалы VI Всероссийского конгресса-практикума ИНФОДОКУМ. М., 2008. С. 63—67.

2. *Witten I.H., Frank E., Hall M.A.* Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann, 2011.

3. *Новикова Г.М.* Основы разработки корпоративных инфокоммуникационных систем. М. : РУДН, 2008.

4. Система голосования Группы компаний «Атанор». URL: http://www.atanor.ru/special/vote-system/.

Ю.В. Новицкая[1], Е.И. Семенов[2], А.В. Гаврилов[3]

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

e-mail: [1]novitskaya@corp.nstu.ru, [2]e7now@yandex.ru, [3]gavrilov@corp.nstu.ru

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УМНОЙ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Введение

Наряду со ставшими уже привычными областями применения интеллектуальных систем существует тенденция их использования в сфере образования [1]. В [2—4] авторами предложена концепция умной учебной лаборатории (Smart School Laboratory), обеспечивающая умное окружение в учебной лаборатории и предназначенная для повышения комфорта, эффективности и безопасности проведения лабораторных работ в высших учебных заведениях (с использованием любого вида лабораторного оборудования).

Как правило, системы, обеспечивающие умное окружение, включают системы мониторинга для отслеживания событий и/или параметров окружающей среды и/или поведения людей. Такая система разрабатывается и для нашей умной учебной лаборатории [5—6].

© Новицкая Ю.В., Семенов Е.И., Гаврилов А.В., 2018

1. Архитектура мониторинговой системы умной учебной лаборатории

Архитектура программного обеспечения умной учебной лаборатории (рис. 1) включает несколько взаимодействующих подсистем, таких как подсистема принятия решений, подсистема контекста, подсистема локализации, подсистема мониторинга событий и подсистема распознавания.

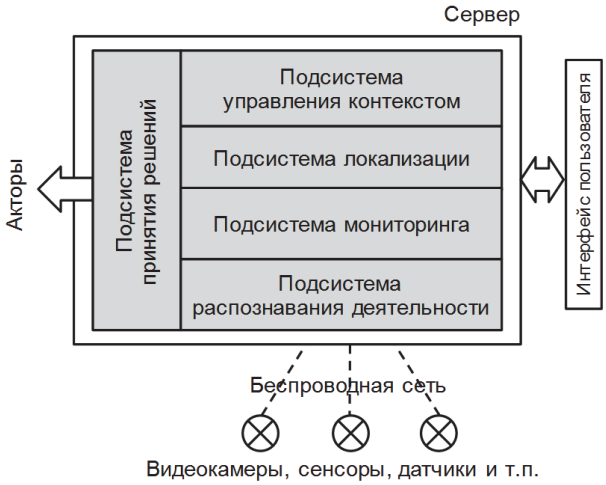


Рис. 1. Архитектура программного обеспечения умной учебной лаборатории

Система мониторинга событий является в некотором смысле ключевой подсистемой и предназначена для отслеживания деятельности студентов и преподавателя и изменения состояния оборудования (не только компьютеров, но и «умных» вещей — дверей, стульев, окон и т. п.).

Перечисленные подсистемы, входящие в состав системы управления умной лабораторией, имеют дело с данными разной природы и задачами разного типа. Так, например, в системе распознавания используются искусственные нейронные сети для обработки и распознавания бинарных и аналоговых данных, основной объем которых поступает с видеокамер.

Применение искусственной нейронной сети в системе распознавания деятельности на основе получаемых исходных («сырых») данных позволяет распознавать события, которые можно отнести к классу простых событий. Простые события — входные данные системы мониторинга, в состав которой входит как искусственная нейронная сеть, так и экспертная система, что позволяет распознавать сложные события с использованием логики событий в рамках базы знаний системы мониторинга. Выходные данные системы мониторинга — распознанные сложные события и действия (например, сообщения студентам или преподавателю, а также, возможно, включение/выключение оборудования) в ответ на распознанные события. Выходные данные формируются в результате нечеткого логического вывода.

База знаний экспертной системы состоит из фреймов-классов и продукционных правил. Фреймы представляют структуру для описания некоторой сущности (события, объекта и т. п.), состоящую из слотов — характеристик этой сущности, их возможных значений, вопросов, комментариев и т. п. Значениями слотов могут быть строки, числа, лингвистические переменные, дата или время. В процессе интерпретации базы знаний фреймы-классы могут генерировать фреймы-экземпляры, предназначенные для хранения данных. Продукционные правила используются для описания отношений между сущностями предметной области. Вывод выполняется на основе отношений, определенных в правилах вывода. В условиях и заключениях правил представлены ссылки на фреймы и их слоты.

В состав подсистемы мониторинга входит также модуль коррекции, выполняющий коррекцию ошибок перед передачей данных датчиков для дальнейшей обработки. Модуль коррекции состоит из экспертной оболочки и баз знаний и фактов.

Подсистемы мониторинга, распознавания деятельности и принятия решений работают в тесной взаимосвязи друг с другом (рис. 2). Подсистема мониторинга и подсистема принятия решений получают данные от подсистемы распознавания и используют также формализованные знания, описывающие правила принятия решений.

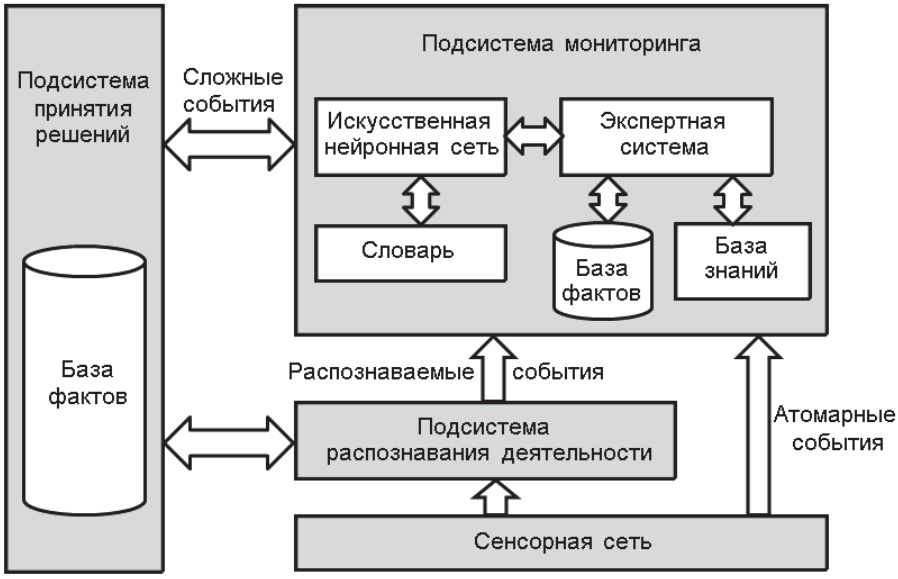


Рис. 2. Взаимодействие подсистем распознавания деятельности, мониторинга событий и принятия решений

Таким образом, для разработки мониторинговой системы требуется использовать гибридный подход к построению интеллектуальных систем [7—11].

2. Представление знаний о событиях в системе мониторинга

События, происходящие в умной учебной лаборатории, можно отнести к разряду сложных событий, т. е. система мониторинга должна заниматься обработкой сложных событий (Complex Event Processing — CEP), заключающейся в работе с несколькими потоками событий.

Под простым событием понимается событие, характеризующееся, как правило, несколькими параметрами: наименование события; время его возникновения; достоверность возникновения события (определяется значением от нуля до удиницы); срок истечения его актуальности; дополнительные данные, сопутствующие событию.

Простые события могут быть атомарными, детектируемыми простыми датчиками и распознанными подсистемой распознавания.

Для умной учебной лаборатории это могут быть, например, следующие атомарные события: «открытие/закрытие дверей/окон»; «включение/выключение освещения»; «включение/выключение оборудования»; «присутствие/отсутствие студента/преподавателя на рабочем месте»; «положительный/отрицательный ответ студента на вопрос входного теста»; «выполнение/невыполнение студентом очередного задания лабораторной работы»; «оценка преподавателем очередного задания лабораторной работы» и т. п.

В качестве распознанных событий могут фигурировать следующие события: «выход студента из комнаты»; «появление студента»; «выход преподавателя из комнаты»; «появление преподавателя в комнате»; «покидание студентом своего рабочего места»; «занятие студентом рабочего места»; «продолжительный разговор между студентами»; «выполнение действия студентом, не удовлетворяющего технике безопасности» и т. п.

Под сложным событием понимается совокупность нескольких простых событий, находящихся друг с другом в определенном отношении. Например, сложное событие «начало лабораторной работы» предполагает следующую совокупность событий: «открытие дверей», «включение освещения», «включение оборудования», «присутствие студента/преподавателя на рабочем месте». Сложное событие «готовность к лабораторной работе» предполагает совокупность событий: «начало лабораторной работы», «положительный/отрицательный ответ студента на вопрос входного теста» и т. п.

Существующие системы обработки сложных событий (CEP-системы), такие как Oracle CEP [12], WSO2 Complex Event Processor [13], Esper [14] и др. достаточно сложны и, как следствие, обладают рядом недостатков: обладают сложным SQL-подобным синтаксисом; имеют большой размер; не слишком подходят для решения небольших по объему задач.

Для системы мониторинга событий умной учебной лаборатории разрабатывается собственная CEP-система, основанная на логической модели обработки событий.

К процессу обработки событий, происходящих в умной учебной лаборатории, предъявляются следующие требования: обработка событий должна

происходить в режиме реального времени; должна присутствовать возможность определения возникновения простых и/или сложных событий; сложные события описываются посредством логики событий; должна учитываться достоверность возникновения событий (это требование может появляться, когда нет точных условий возникновения события, например, используются данные статистики, или события распознаются средствами компьютерного зрения с некоторой вероятностью неправильного распознавания); должна учитываться актуальность событий, т. е. события могут со временем устаревать с точки зрения их обработки (реакции на события).

Для описания сложного события необходима логическая модель для описания связи событий друг с другом. В предлагаемой логической модели событий для описания сложных событий используется композиция нечеткой и темпоральной логик, дополненных новыми предлагаемыми отношениями.

В качестве темпоральной логики за основу взята модель интервальной темпоральной логики (Interval Temporal Logics — ITL) с длиной интервала, равной нулю [12].

Предлагаемая модель — модель с псевдофизической логикой событий, так как она обладает следующими свойствами [13]: объединяет логики отношений: временных и каузальных; часть рассуждений связана со шкалами; содержит в качестве аксиом утверждения, вытекающие из восприятия мира человеком; характеризуется связями между отдельными частями — логиками.

Далее приводятся предлагаемые отношения для включения в разрабатываемую модель логики событий.

Пусть x и y — это некоторые события, где достоверности $d(x)$ и $d(y)$ событий x и y имеют значения в интервале от нуля до единицы. В общем случае событие обозначается как $x(t)$, где далее под временем возникновения события понимается текущее время.

Отношения нечеткой логики: x and y — оба события возникли (итоговая достоверность определяется как минимальная достоверность событий $\min(d(x),d(y))$); x or y — возникло, по крайней мере, одно из событий (итоговая достоверность определяется как максимальное значение достоверностей событий $\max(d(x),d(y))$); not x — событие не возникало (итоговая достоверность определяется по формуле $1 - d(x)$).

Отношения темпоральной логики: x earlier y — событие x возникло раньше события y; x later y — событие x возникло позже события y; x together with y — событие x возникло одновременно с событием y; distance between x and y less t — время между возникшими событиями меньше интервала t (порядок возникновения событий не важен); distance between x and y more t — время между возникшими событиями больше интервала t (порядок возникновения событий не важен); y after x through t — если произошло событие x, то через интервал времени t происходит событие y (импликация будущего события); y before x through t — если произошло событие x, то ему через интервал времени t предшествовало событие y (импликация прошлого события).

Последние два отношения введены для того, чтобы иметь возможность выдвигать гипотезы о прогнозируемом событии и о прошлом, пропущенном (нераспознанном), событии соответственно.

При реализации предложенной логики следует иметь в виду, что система должна работать с понятием текущего времени, привязывая к нему времена, фигурирующие в сложных событиях, формируемых с применением временных отношений. При этом надо учитывать, что достоверность любого простого события зависит от времени по формуле

$$d(x) = f(t_x, t),$$

где t_x — время возникновения события x; t — текущее время (время рассуждений и принятия решений системой).

Эта функция зависит от конкретного вида системы мониторинга, решаемых ею задач и видов событий, но всегда должна уменьшаться с увеличением величины $|t - t_x|$, хотя могут быть «неустаревающие» события, для которых $d(x)$ не зависит от прошедшего с момента возникновения события x времени.

Ниже приведен пример реализации модели представления знаний о событиях, для которого был использован язык логического программирования SWI Prolog.

```
…
% Фрагмент базы знаний о событиях
% Факты
earlier("открытие дверей", "включение освещения", 0.7).
earlier("включение освещения", "включение оборудования", 0.8).
earlier("включение оборудования", "присутствие студента на рабочем месте",
0.75).
earlier("включение оборудования", "присутствие преподавателя на рабочем ме-
сте", 0.95).
% Правила вывода
complex_event("начало лабораторной работы", D) :- earlier("открытие дверей",
"включение освещения", D1), earlier("включение освещения", "включение обору-
дования", D2),
earlier("включение оборудования", "присутствие студента на рабочем месте",
D3), earlier("включение оборудования", "присутствие преподавателя на рабочем
месте", D4), min(D1, D2, D3, D4, D).
add_complex_event :- assert(complex_event("начало лабораторной
 работы", D)).
…
```

Заключение

Применение технологий умного окружения в учебном процессе (в частности, для проведения лабораторных работ) — новая область приложения актуальных на сегодняшний день технологий Smart Environment.

Предлагаемая умная учебная лаборатория позволит преподавателю организовать проведение нескольких занятий одновременно с большим числом студентов без потери качества обучения. Часть вопросов, неизбежно возникающих у студентов по ходу выполнения лабораторных работ, может успешно решаться без участия преподавателя в процессе общения студента с системой.

Основное же внимание преподавателя будет направлено на качественное выполнение студентами лабораторных работ, на приобретение студентами знаний, навыков и умений, определенных государственными образовательными стандартами.

Кроме вышеперечисленных преимуществ, обеспечивается принципиальная возможность проведения одним преподавателем однотипных лабораторных работ одновременно в двух/трех рядом расположенных аудиториях.

Система мониторинга событий, предлагаемая в данной статье в качестве одной из главных подсистем умной учебной лаборатории, может использоваться для разработки других мониторинговых систем в иных областях деятельности, например в управлении сложными технологическими процессами или в управлении предприятием.

Список литературы

1. *Mikulecky P.* Smart Environment for Smart Learning // 9 Int. Scientific Conference on Distance Learning in Applied Informatics (DIVAI), Slovakia, 2012. Nitra : Faculty of Natural Sciences Constantine the Philosopher University in Nitra, 2012. P. 213—222.

2. *Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В., Яцевич Т.А.* Умная учебная лаборатория // «Робототехника и искусственный интеллект» : материалы V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск : ЦНИ «Монография», 2013. С. 126—134.

3. *Gavrilov A.V., Novitskaya Y.V., Yatsevich T.A.* Towards a Smart School Laboratory // Proc. of 10th Int. Scientific Conference on Distance Learning in Ap-plied Informatics DIVAI-2014, Sturovo, Slovakia, 2014. Prague : Wolters Kluwer, 2014. P. 65—74.

4. *Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В.* Умная учебная лаборатория для автоматизации проведения лабораторных работ // Компьютерные инструменты в образовании. 2016. № 6. С. 20—31.

5. *Новицкая Ю.В., Гаврилов А.В.* Система мониторинга умной учебной лаборатории // Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции «Робототехника и искусственный интеллект» РИИ-2015. Железногорск : СФУ, 2015. С. 177—182.

6. *Новицкая Ю.В., Семенов Е.И., Гаврилов А.В.* Модель представления знаний о событиях для системы мониторинга // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект» (РИИ-2017). Железногорск, 2017 (в печати).

7. *Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В.* Архитектура «двухполушарной» экспертной системы // Межвуз. сб. «Кибернетика и ВУЗ. Интеллектуальные информационные технологии». Томск : Томск. политехн. ун-т, 1994. Вып. 28. С. 8.

8. *Гаврилов А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. Новосибирск : НГТУ, 2003.

9. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001.

10. *Gavrilov A.V., Novickaja J.V.* The Toolkit for development of Hybrid Expert Systems // KORUS-2001. The 5th Korean-Russian Symp.: symp. proc.Tomsk : TPU, 2001. Vol. 1. P. 73—75.

11. *Gavrilov A.V., Chistykov N.A.* An architecture of the toolkit for development of hybrid expert systems // ACIT-2005. The Second IASTED Int. Multi-Conference, Automation, Control and Applications : conf. proc. Novosibirsk, 2005. P. 116—120.

12. Oracle Complex Event Processing. URL: http://www.oracle.com/technetwork/ru/middleware/complex-event-processing/index.html.

13. WSO2 Complex Event Processor. URL: https://wso2.com/products /complex-event-processor.

14. Esper. URL: http://www.espertech.com/esper.

А.А. Романов[1], И.А. Тимина[2]
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия
e-mail: [1]romanov73@gmail.com, [2]i.timina@ulstu.ru

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Задача оценки трудоемкости возникла из необходимости планирования работы над большими проектами, содержащими большое количество связанных работ, состоящих из большого числа компонент. Количество работ и структурных компонент будем считать большим в том случае, если их реализация сопряжена с неопределенностью. Задача оценки трудоемкости тесно связана с задачей управления, поскольку неопределенность на начальном этапе может потребовать корректировки процессов реализации проекта, изменение приоритетов, последовательности и спектра выполнения работ. Область применения подходов по оценке трудоемкости достаточно широка, ввиду того, что работа моделей основывается на декомпозиции задач и их оценки в требуемых величинах [1; 2].

Часть методов имеют частное применение — в отрасли разработки программного обеспечения. Но если абстрагироваться от предметных областей ради извлечения общей концепции, то такие методы также заслуживают внимания. Особенно если учесть, что к применению моделей для оценки трудоемкости разработки программных систем в последнее время имеется повышенный интерес. Соответственно, последние достижения из этой области можно попробовать распространить на другие типы проектов.

1. Сетевые модели

В числе первых методов управления проектами в конце 50-х гг. были разработаны методы сетевого планирования и управления: метод CPM (Critical Path Method, 1957 г.) [3].

Основной документ сетевого планирования и управления — сетевой график — информационно-динамическая модель, изображающая взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели проекта.

© Романов А.А., Тимина И.А., 2018

Взаимосвязанные работы отображают последовательность действий с оценкой времени их выполнения [4]. Получается, что на итоговую оценку времени выполнения влияют как длительности работ, так и последовательности, в которую они выстраиваются [5].

Сетевая модель — конечный, ориентированный, реберно- и вершинно-взвешенный граф, в котором одна вершина не имеет входных дуг (начало работ) и одна вершина не имеет исходных дуг (окончание работ, получение результата). Критический путь в сетевой модели занимает максимальное время исполнения и, следовательно, имеет максимальную трудоемкость [6].

Построение сетевых графиков ограничивается множеством правил, что положительно сказывается на однозначной алгоритмической реализации данного метода.

На рисунке 1 изображен пример сетевого графика, на котором переходы A, B, …, K обозначают работы, кодирующиеся начальным и конечным событием, например для работы A (1,2).

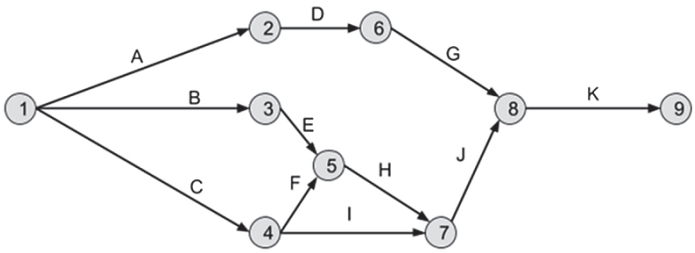


Рис. 1. Пример сетевой модели

2. Технология оценки и пересмотра программы

PERT — Program Evaluation and Review Technique — технология оценки и пересмотра программы, базирующаяся на идее сетевого планирования. Как и в прочих случаях, для того чтобы рассчитать для каждой работы дату начала и дату окончания, нужно оценить длительности всех работ с оценкой того, сколько они займут времени. Только после этого можно эту модель рассчитать и понять сроки окончания работ. Разумеется, что сделать точный расчет по данному методу не получится вследствие, например, нехватки компетенций, различного рода неопределенностей. Поэтому в рамках работы данного метода предлагается использовать не одну оценку, а три: оптимистическую, пессимистическую, наиболее вероятностную.

При этом рекомендуется применять технику скользящего пересмотра сроков с учетом достигнутых результатов. Таким образом, метод предназначен для оптимизации длительности проектов за счет логико-управленческих решений. Оптимизация достигается за счет применения статистических методов. Техника позволяет при расчете продолжительности работ применить вероятностный подход с использованием так называемого среднего значения β-распределения.

Две наиболее распространенные формулы, применяемые в технике, — треугольное распределение и уже рассмотренное β-распределение. В методе применяется следующая формула расчета средневзвешенного времени операции:

$$t_E = \frac{(t_O + 4t_M + t_P)}{6},$$

где t_M — наиболее вероятное время операции; t_O — оптимистичное время операции; t_P — пессимистичное время операции.

Треугольное распределение, в свою очередь, выглядит следующим образом:

$$t_E = \frac{(t_O + t_M + t_P)}{3}.$$

Замечания по работе метода: техника по своему методу занижает предполагаемую продолжительность выполнения проектной задачи, увеличение числа одновременно осуществляемых работ увеличивает размер ошибки; разброс вероятности по критическому пути растет.

Техника не воспринимает существующие ограничения на ресурсы и действия руководителя, который стремится обеспечить проектный результат в назначенные сроки. Чтобы применение инструмента дало лучший результат, допускается, что все случайные величины продолжительностей работ критического пути независимы.

3. Модель оценки трудоемкости Constructive cost model

Constructive Cost Model и ее производные — одни из самых популярных моделей оценки трудоемкости, применяемые для оценки трудоемкости создания программного обеспечения [7]. В рамках модели COCOMO существуют три последовательных уровня, различающиеся набором используемых параметров, который расширяется при переходе с одного уровня на другой, и степенью точности входящих данных: предварительная модель; предпроектная модель; детальная модель.

Предварительная модель дает быстрые оценки на ранних стадиях разработки ПО, когда некоторые факторы невозможно учесть, поскольку вначале они еще не определены. Предпроектная модель (средний уровень) уже учитывает эти факторы. Детальная модель, помимо дополнительных факторов, учитывает влияние отдельных фаз проекта на его общую стоимость.

Модель COCOMO основана на простой формуле регрессии, параметры которой обусловлены отраслевыми данными и характеристиками рассматриваемого проекта. Трудоемкость проекта рассчитывается в человеко-месяцах по базовой формуле

$$PM = A \times SIZE^B \times \prod_{i=1}^{n} EM_i,$$

где $A = 2{,}94$; $E = B + 0{,}01 \times \sum_{i=1}^{n} SF_i$; $B = 0{,}91$; $SIZE$ — 10^3 частей готового продукта; EM_i — множители трудоемкости; SF — факторы масштаба, n = 7 для предварительной оценки, n = 17 — для детальной оценки.

Как видно из формулы, основной показатель, влияющий на результат расчета, — размер программного продукта (тысяча логических строк исходного кода).

Множители M — показатели, характеризующие проект и процесс разработки проекта, например, такие как надежность и уровень сложности разрабатываемого продукта, сложность платформы разработки, возможности и опыт персонала и т. д. Из семи параметров для предпроектной модели в дальнейшем образуется семнадцать для детальной. Например, упомянутый выше показатель процесса разработки проекта детализируется еще в четырех показателях: степень надежности системы, ее уровень сложности, объем соответствующей документации, объем используемых данных. Каждому показателю присваивается определенное значение, которое берется из специальной таблицы.

Модель COCOMO дает оценку трудозатрат в человеко-месяцах (в месячную норму заложено 152 человеко-часа).

Недостатки модели COCOMO (по мнению экспертов): устаревает и не подходит для оценки трудозатрат на разработку сложных современных программных комплексов; хороша только для цельных программ, а для интегрированных дает недостоверные результаты.

Другой популярный метод — метод COCOMO II (Constructive Cost Model II), использующий большое количество данных из реализованных ранее проектов.

В этой модели оценки трудоемкости проекта и времени, необходимого на его выполнение, определяются тремя способами на разных этапах проекта. На самых ранних этапах, когда известны только общие требования, проектирование еще не начиналось, используется модель состава приложения. В ее рамках трудоемкость проекта оценивается в человеко-месяцах по формуле

$$Eff = A - SIZE,$$

где $SIZE$ представляет собой оценку размера в терминах экранов, форм, отчетов, компонентов и модулей будущей системы; коэффициент A учитывает возможное переиспользование части компонентов и производительность разработки, зависящую от опытности команды и используемых инструментов.

4. Требования к модели

Рассмотренные модели имеют общее, по сути, содержание — как структурное, так и организационное. Для увеличения точности прогнозирования требуется разбивать работу над проектом на максимально дробные составля-

ющие для минимизации рисков упустить из виду особенности выполнения работы или взаимосвязь с другими работами. По своей организации модели планирования все чаще коррелируют с современными условиями гибкой организации планирования работы над проектом: ставка делается на небольшой горизонт прогнозирования, но в рамках этого горизонта проект прорабатывается очень детально. К тому же в таком варианте можно учесть историю работы на предыдущем этапе или работу над похожим проектом в целом.

Следовательно, можно сделать вывод об актуальности разработки модели, имеющий удобное и наглядное представление в виде сетевого графика, и использовать динамическую информацию, получаемую через обратную связь путем измерений показателей разработки проекта. Модель должна оценивать новый проект по текущему или уже созданному. Такой вариант необходим ввиду того, что подход «разработка проекта на основании подобного решения» в настоящее время часто применяется, так как потенциально несет в себе сокращение издержек производства и минимизации рисков.

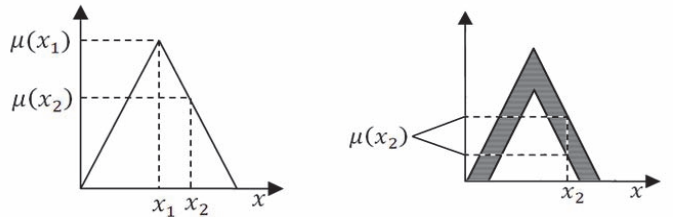
5. Моделирование нечеткими множествами типа 2

С момента появления нечеткой логики применяются множества первого порядка (типа 1) для представления или моделирования неопределенностей предметной области [8]. В 1975 г. Л. А. Заде представил нечеткие множества второго порядка (типа 2) и нечеткие множества более высоких порядков [9], для устранения недостатков нечетких множеств типа 1: отобразить функции принадлежности на точные действительные числа. Это не актуально для приложений, когда известно, что данные обладают неопределенностью.

Решением вышеописанной проблемы может стать применение нечетких множеств типа 2, в которых границы областей принадлежности сами по себе нечеткие [8]. При каждом значении переменной x из универсума X значение само функция, а не ее значение в точке. Можно сделать вывод, что данная функция представляет нечеткое множество типа 2 — трехмерное, а третье измерение добавляет новую степень свободы для обработки неопределенностей. В [8] Мендель определяет и дифференцирует неопределенности на случайные и лингвистические. Первый тип характерен, например, для обработки статистических сигналов, а характеристика лингвистических неопределенностей содержится в системах с неточностями на основе данных, определяемых, например, через высказывания эксперта.

Над нечеткими множествами типа 2 можно выполнять операции объединения, пересечения и дополнения. Так как нечеткие множества типа 2 имеют расширенное представление неопределенностей, то это создает дополнительную вычислительную сложность.

Отметим основные отличия нечетких множеств типа 1 от нечетких множеств типа 2, для чего обратимся к рисунку 2, иллюстрирующему простую треугольную функцию принадлежности.



а *б*

Рис. 2. Вид нечетких множеств 1-го (*а*) и 2-го (*б*) типов

На рисунке 2, *а* изображено четкое задание степени принадлежности. При этом любому значению *x* соответствует только одно точечное значение функции принадлежности. При применении нечеткой функции принадлежности второго типа графически можно сформировать ее обозначение в виде области, которая называется отпечатком неопределенности (англ. footprint of uncertainty, FOU) [10]. В отличие от случая использования функции принадлежности с четкими границами, значения функции принадлежности типа 2 — сами нечеткие функции.

Такой подход дает преимущество в виде приближения нечеткой модели к словесной. Люди могут иметь разные оценки одной и той же неопределенности. Особенно это касается оценочных выражений. Поэтому и возникла необходимость исключить однозначное сопоставление полученного значения степени функции принадлежности. Таким образом, при задании экспертом степеней принадлежности уменьшается риск накопления ошибок из-за невключения точек, расположенных около границ функции и находящихся под сомнением.

Размытие границ — первый шаг в переходе от нечетких множеств типа 1 к нечетким множествам типа 2. На втором шаге требуется выбирать вид функции принадлежности, как это делается для нечетких множеств типа 1, например треугольники.

Отличительная особенность объектов моделирования — наличие неопределенности, имеющей разную природу: порождаемая высказываниями эксперта, неопределенность значений показателей, косвенное влияние скрытых факторов и зависимостей т. д. В современных условиях немаловажное значение приобретают системы управления, способные эффективно моделировать и представлять процессы и объекты, оказывающие большое влияние на достижение целей управления.

Неопределенность, присутствующая в задачах управления деятельностью любого предприятия, характеризуется высказываниями экспертов, содержащими неполную информацию, обладающими размытостью и нечеткостью информации об основных параметрах и условиях анализируемой задачи. Таким образом, решение задачи управления становится сложной и порождается множеством факторов. Сочетание этих факторов на практике создает обшир-

ный спектр различных видов неопределенности. Поэтому и возникает необходимость применения методов, которые позволяют использовать размытые значения показателей.

Значительно чаще в задачах принятия решений приходится иметь дело с ситуациями, когда данные представлены словесными описаниями, когда оценки получены с помощью вербальных или вербально числовых шкал, когда имеется информация лишь о сравнительных оценках альтернативных вариантов, т. е. информация имеет качественный характер. Существуют также ситуации, когда полученная количественная информация не может быть «вписана» ни в одну из имеющихся математических моделей и должна быть проанализирована с помощью специально разрабатываемых методов качественного анализа.

Представим объект и покажем разницу в подходах, когда характеристики имеют не только количественную, но и качественную природу. Например, представим характерное для моделирования множествами типа 1 высказывание:

«*Если функция в программе имеет много строк, то требуется ее декомпозиция*».

Здесь можно построить функцию принадлежности касаемо лингвистической переменной «*длина функции в строках*». Для нее характерны значения [*мало, приемлемо, много*]. Однако на практике определение приемлемого количества строк может быть четкой задачей — в требованиях к построению кода явно указывается предел приемлемого значения или регулируется посредством правил (например, тело функции должно умещаться на экране). Однако такой вариант требует привлечения дополнительной информации в виде параметров или правил, что не позволяет полностью отразить в модели все нюансы. Решение задачи через нечеткие множества типа 1 позволяют отчасти сократить разрыв между моделью и реальностью. Но в этом случае получаем долю субъективизма в процессах фаззификации/дефаззификации и лишает возможности более гибкого подхода: возможности учесть большее количество неопределенностей. Сформулируем такого рода выражения:

Если функция в коде имеет много строк, то, возможно, требуется ее декомпозиция.

Если функция в коде имеет очень много строк, то обязательно требуется ее декомпозиция.

Здесь выделяются нечеткая переменная *«характеристика интервала строк»*, характеризующая предыдущую нечеткую переменную *«длина функции в строках»* с качественной стороны и позволяющая сформировать новые правила для обработки ситуации. Данный момент будет учитываться в модели в виде нечеткого множества типа 2, где первичная переменная — *«длина функции в строках»*, а ее значение — нечеткая функция *«характеристика интервала строк»*.

Исследование проведено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 2.1182.2017/4.6 «Разработка методов и средств автоматизации производствен-

но-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы», а также при поддержке РФФИ, проект № 16-47-732070.

Список литературы

1. *Ефимов Ю. В.* Оценка трудоемкости сложных объектов на основе регуляризирующего Байесовского подхода // Управление предприятиями в условиях нестабильности и неопределенности. 2015. № 12. С. 88—92.

2. *Зуб А. Т.* Управление проектами: учебник и практикум для академического бакалавриата. М. : Юрайт, 2014.

3. *Абрамова И. Г.* Управление проектом на основе сетевых моделей. Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2007.

4. *Новиков Д. А.* Управление проектами: организационные механизмы. М. : ПМСОФТ, 2007.

5. *Грей К. Ф., Ларсон Э. У.* Управление проектами : практическое руководство / пер. с англ. М. : Дело и Сервис, 2003.

6. *Леви Ф. К., Томпсон Г. Л., Уист Дж. Д.* Введение в метод критического пути // Календарное планирование. М. : Прогресс, 1966. С. 380—397.

7. *Мицель А. А., Шелковников К. А., Истомин Н. А.* Методы оценки трудоемкости проектов по созданию программных систем // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Томск : Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2006. С. 91—95.

8. *Mendel J. M., John R. I. B.* Type-2 Fuzzy Sets Made Simple // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2002. Vol. 10/2. P. 117—127.

9. *Мазур И. И., Шапиро В. Д., Ольдерогге Н. Г.* Управление проектами : учеб. пособие для вузов. М. : Экономика, 2001.

10. *Coupland S.* Type-2 fuzzy control of a mobile Robot: MPhil/PhD Transfer Report / Centre for Computational Intelligence De Montfort University. Leicester, 2003. 29 p.

С. Б. Румовская[1], И. А. Кириков[2], И. А. Бенько[3]
[1,2]КФ ФИЦ ИУ РАН, [1,3]БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия
e-mail: [1]sophiyabr@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

Введение

В естественных системах, в частности в медицине, свойство гетерогенности (разноаспектное восприятие объекта) позволяет создавать системы поддержки принятия решений (СППР) как искусственные гетерогенные интеллектуальные системы, отображающие дополнительность, сотрудничество и относительность знаний. Разнообразие [1] — признак, проявление гетерогенности. Для отображения в информатике ситуативного разнообразия в есте-

© Румовская С. Б., Кириков И. А., Бенько И. А., 2018

ственных гетерогенных системах в [2] введены модели «неоднородная задача» и «однородная задача», а закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби трактуется так: только разнообразная, скоординированная клиническая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, сделает результат диагностики качественно лучше. Специфике такой работы соответствует коллективный труд экспертов в малых группах «за круглым столом» [3] — консилиумы, естественные гетерогенные системы для решения неоднородных задач.

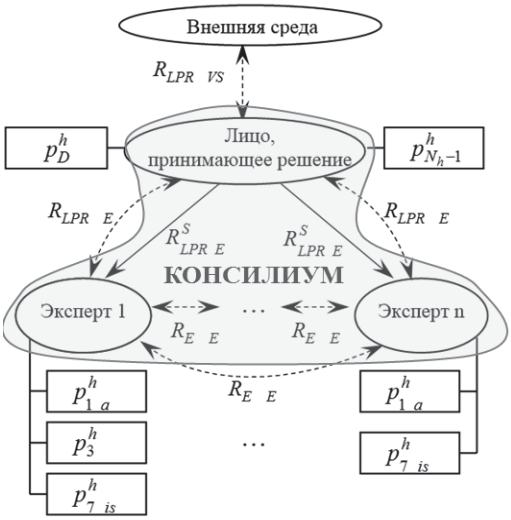
В работе рассматриваются результаты исследования особенностей коллективного решения сложных задач диагностики, в частности задачи диагностики артериальной гипертензии (АГ), а также концептуальная модель консилиума стационара для диагностики АГ.

1. Решение неоднородных задач диагностики в системах поддержки принятия решений

Для разработки систем поддержки принятия решений используется обширный инструментарий [4—7]: технология OLAP оперативной аналитической обработки многомерных данных; Data Warehouse (хранилище данных); для хорошо- и слабоструктурированных проблем нейронные сети; для слабо- и неструктурированных проблем CBR-системы (англ. case-based reasoning); генетические алгоритмы, эволюционные стратегии и эволюционное программирование для комбинаторных и оптимизационных хорошо- и слабоструктурированных задач; деревья решений с иерархической структурой правил классификации вида «Если…, то…» для хорошо- и слабоструктурированных задач; методы нечеткой логики и нечетких моделей (систем); онтологии для классификации информации, поддержки выбора метода решения задач и др.; когнитивная модель сложной ситуации (состояния слабоструктурированной системы) [4]; когнитивные карты для моделирования проблемной области [5], как динамической ситуации, с ее последующим анализом; технология Интерин для создания медицинских автоматизированных информационных систем разных уровней [7]; технология SIMER+MIR [6] — совокупность программных средств для формирования качественной модели предметной области и адаптации к этой модели программных средств моделирования рассуждений типа аргументации.

На рисунке 1 представлена концептуальная модель консилиума [3], расширенная распределенными по его участникам подзадачами и подзадачей лица, принимающего решение, (ЛПР) по формированию диагностического заключения из декомпозиции P^h неоднородной задачи диагностики p_D.

Одна подзадача может решаться одним экспертом (p_3^h — рис. 1), либо требуются знания нескольких специалистов и тогда: 1) либо частные заключения подзадачи можно аддитивно объединить лицом, принимающим решение, в одно ($p_{1\ a}^h$); 2) либо необходима интеграция и согласование ЛПР частных заключений по соответствующей подзадаче ($p_{7\ is}^h$).



Обозначения: $R_{LPR\ VS}$, $R_{LPR\ E}$, $R_{E\ E}$ — отношения дополнительности «внешняя среда — лицо, принимающее решение», «эксперт — лицо, принимающее решение», «эксперт — эксперт» соответственно; $R^S_{LPR\ E}$ — отношения сотрудничества «лицо, принимающее решение — эксперт»

Рис. 1. Модель коллективного принятия решения в малых группах с распределением подзадач по участникам группы

Кроме того, ЛПР может решать не только задачу p_D^h интеграции частных мнений экспертов, формируя заключительный диагноз, но и принимать участие в решении подзадач, если его знания необходимы ($p_{N_h-1}^h$). Отношения декомпозиции «подзадача—подзадача» — $R_3 \subseteq R^S_{LPR\ E} \bigcup R_{E\ E} \bigcup R_{LPR\ E}$.

Организационная структура СППР формируется установлением между ЛПР и экспертами отношений сотрудничества ($R^S_{LPR\ E}$ — рис. 1), имеющих «договорный» характер [8] на время решения неоднородной задачи. Взаимодействие экспертов ($R_{E\ E}$) многогранно: 1) подчиненность; 2) в группах по профессиям (в медицине — неврология, эндокринология и т. д.); 3) обмен данными, знаниями, объяснениями и частичными решениями общей задачи. Отношения взаимодействия ЛПР и экспертов ($R_{LPR\ E}$) бывают односторонними, а $R_{E\ E}$ могут отсутствовать, если эксперты не контактируют друг с другом.

В настоящее время [9] коллективы экспертов лучше всего решают неоднородные задачи диагностики, а модель коллективного решения даст результаты автоматизированного решения неоднородной задачи по качеству не хуже, чем в реальном коллективе, и лучше, чем индивидуальное решение.

Предлагается повысить эффективность и качество индивидуальных диагностических решений, в частности в лечебно-профилактическом учреждении (ЛПУ) поликлинического типа, внедрением информационной технологии «Виртуальный консилиум» (ВК) — инструментальной среды поддержки принятия диагностических решений для синтеза и реализации метода решения неоднородных задач, моделирующей работу системы «ЛПР — эксперты» как искусственную гетерогенную систему [10], интегрирующую разнородные знания экспертов и способную моделировать как отдельные линии рассуждений, так и комбинирование частных мнений в общее решение.

2. Особенности коллективных решений при диагностике артериальной гипертензии

Медицинская диагностика, или диагностический процесс (рис. 2), предполагает целенаправленное медицинское обследование, истолкование результатов и их обобщение в виде установленного диагноза. Объект диагностики — пациент, состояние которого контролируется и анализируется субъектом диагностики. Лицо, принимающее заключительное решение о состоянии объекта диагностики, т. е. формирующее диагноз, — лечащий врач. По способу установления диагноза [11] выделяют прямой, устанавливаемый по типичной совокупности признаков, и дифференциальный, основанный на выявлении различий в проявлениях данной болезни и заболеваний со сходной клинической картиной. Эти два диагноза дополняют друг друга, так как врач начинает диагностировать больного с позиции дифференциации, а затем оценивает симптомы с позиции прямой диагностики. Концептуальная модель на рисунке 2 предполагает формирование полного дифференциального диагноза больного. Например, диагностика артериальной гипертензии [12] дифференцирует первичную артериальную гипертензию или эссенциальную (хронически протекающее заболевание, класс I10 по МКБ-10 [13]) от вторичных АГ (класс I15 по МКБ-10 [13]), связанных с наличием патологических процессов.

Диагностический процесс в медицине состоит из трех основных этапов (первый этап реализует ЛПР): 1) сбор информации о состоянии больного и формирование множества симптомов (сбор анамнеза или опрос пациента); физикальное обследование — прослушивание, простукивание и прощупывание пациента; лабораторное обследование, а также функциональная или инструментальная диагностика; занесение множества симптомов в протокол состояния объекта диагностики; 2) из протокола информация поступает множеству экспертов — врачам узкой специализации, которые дополняют и делают свои заключения; 3) дополнение и сопоставление лечащим врачом информации, поступившей от врачей узких специализаций, и формирование диагноза. Все врачи — субъекты. Каждый объект характеризуется множеством значений показателей своего состояния (множеством симптомов). Источники исходных диагностических данных разнородны [3]: ЛПР и эксперты (субъекты диагностики), обследующие пациента и формулирующие значения показателей состояния объекта диагностики в формате количественных, лингвистических и нечетких переменных; аппаратура, снимающая значения характеристик объекта в количественном и графическом виде (детерминированные переменные).

Рис. 2. Концептуальная модель процесса диагностики (стационар)

Таким образом, неоднородную задачу диагностики (рис. 3), p_D, определим как задачу, включающую «однородные подзадачи» ($p_1^h, ..., p_N^h, p_D^h$) со свойствами нечеткости исходных данных, специфицирующиеся одним из методов формализованного представления систем и включающих контроль состояния и функционирования объекта диагностики, выявление и локализацию отклонений.

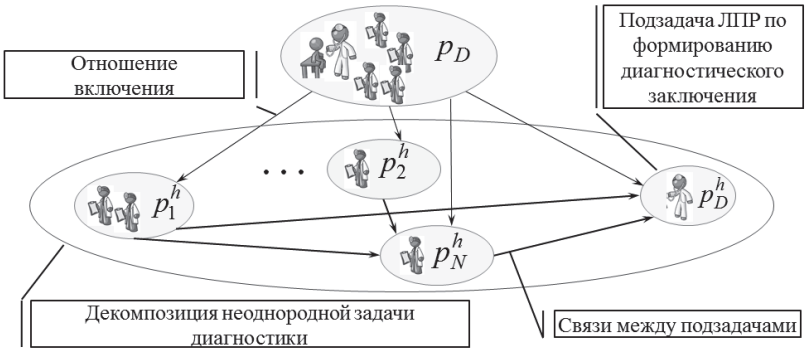


Рис. 3. Неоднородная задача диагностики

Неоднородная задача диагностики артериальной гипертензии (НЗДАГ) включает функциональные диагностические подзадачи, а также технологические подзадачи предобработки симптоматической информации при необходимости. Однородные подзадачи НЗДАГ с различными характеристическими свойствами требуют различные методы системного анализа, искусственного интеллекта и инженерии знаний.

Цель решения НЗД: диагноз АГ (состоит из 100 элементов) — дифференциальное заключение о состоянии объекта диагностики, пациента. Структура диагноза представлена на рисунке 4.

Исходные данные: множество симптомов (порядка 800). Профессиональный язык — тринадцати медицинских работников (кардиолога, психолога, невролога, нефролога, уролога, онколога, педиатра, акушера-гинеколога, сосудистого хирурга, врача функциональной диагностики, окулиста, терапевта и эндокринолога).

Рис. 4. Структура полного дифференциального диагноза АГ виртуального консилиума

3. Концептуальная модель консилиума врачей как системы поддержки принятия решений при диагностике артериальной гипертензии

Исследования диагностического процесса [3] на материалах поликлинического лечебно-профилактического учреждения — Диагностического центра Калининградской областной клинической больницы и [14] показали, что 70 % пациентов амбулаторно-поликлинического учреждения с АГ не знают о своем заболевании, в то время как в стационарных медицинских учреждениях

практически в 100 % случаев имеет место как адекватное проведение, так и отображение в медицинских картах данных обследования с подтверждением диагноза лабораторно-инструментальными методами.

Применение модели ВК для диагностики АГ в поликлинике — интерпретация модели коллективного принятия решения в малых группах (рис. 1) для ситуации диагностики АГ с привлечением знаний шести врачей узкой специализации (рис. 5).

Полнота диагностического заключения в данном случае равносильна формату клинического эпикриза (в ЛПУ стационарного типа формулируется в медицинской карте стационарного больного), содержащего сведения о природе, сущности, основных проявлениях и течении болезни.

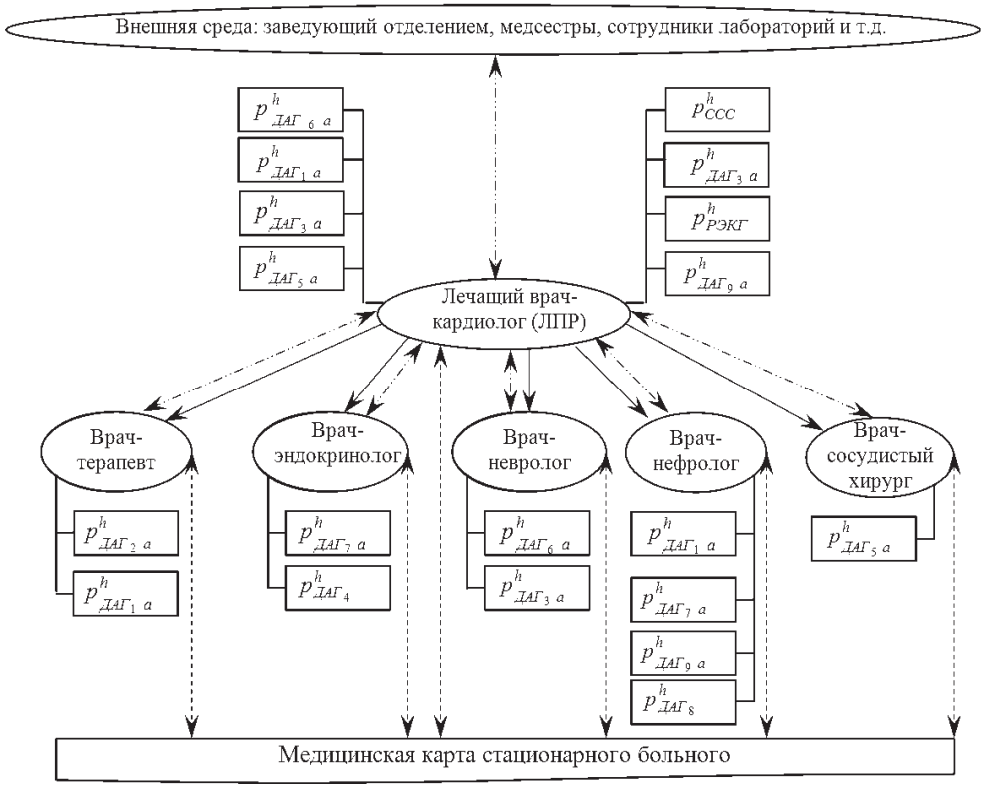


Рис. 5. Концептуальная модель консилиума врачей стационара как СППР для диагностики артериальной гипертензии:

$p^h_{РЭКГ}$, $p^h_{СМАД}$, $p^h_{ССС}$, $p^h_{ДАГ_{1-9}}$ — диагностические подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», «Анализ суточного мониторирования артериального давления», «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» и из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента», соответственно;

←···→ – отношения дополнительности; ⟶ – отношения сотрудничества;

←⋯→ – запись, чтение симптомов и диагноза

Заключение

Система гетерогенной диагностики АГ (рис. 5) способна динамично синтезировать над гетерогенным модельным полем (множество разнородных диагностических и технологических моделей) новый метод выработки индивидуального диагностического заключения для каждого объекта диагностики и применять его для подготовки рекомендаций лицу, принимающему решение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-07-00272 А).

Список литературы

1. *Глушков В.М.* О кибернетике как науке //Кибернетика, мышление, жизнь. М. : Мысль, 1964. С. 53—62.

2. *Колесников А.В., Кириков И.А.* Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.

3. *Кириков И.А., Колесников А.В., Румовская С.Б.* Исследование сложной задачи диагностики артериальной гипертензии в методологии искусственных гетерогенных систем // Системы и средства информатики. 2013. Т. 23, № 2. С. 96—114.

4. *Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В.* Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений. Информационное общество. URL: http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839/.

5. *Кузнецов О.П.* Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления, 2009. № 3.1. С. 64—72.

6. *Назаренко Г.И., Гулиев Я.И., Ермаков Д.Е.* Медицинские информационные системы: теория и практика / под ред. Г. И. Назаренко, Г.С. Осипова. М. : Физматлит, 2005.

7. *Осипов Г.С.* Приобретение знаний интеллектуальными системами. М. : Наука. Физматлит, 1997.

8. *Практическая* психология : учебник / под ред. проф., акад. БПА М.К. Тутушкиной. 4-е изд., перераб. и доп. СПб. : Дидактика Плюс, 2001.

9. *Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. и др.* Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / под ред. А.В. Колесникова. М. : ИПИ РАН, 2011.

10. *Румовская С.Б., Колесников А.В.* Виртуальный тренажер для диагностики артериальной гипертензии // Труды международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15—16 апреля 2014 г.). М. : Изд-во МЭИ, 2014. С. 131—134.

11. *Боткин С.П.* Первая клиническая лекция // Медицинский вестник. 1862. № 41. С. 392.

12. *Диагностика* и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (четвертый пересмотр) // Системные гипертензии. 2010. № 3. С. 5—26.

13. *Международная* статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем : в 3 т. / пер. с англ. М.В. Максимовой и др. 10-й пересмотр. М. : Медицина, 1997. Т. 1, ч. 1.

14. *Плавунов Н.Ф., Степанова В.В. и др.* Роль артериальной гипертонии в структуре и исходах госпитализаций многопрофильного скоропомощного стационара / Артериальная гипертензия. 2004. Т. 10, № 3. С. 30—36.

С. Б. Румовская[1], А. А. Литвин[2], А. И. Молодченков[3], М. О. Зубрихина[4]
[1] КФ ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия
[1,2]БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия
[3,4] ООО «ТСА», Москва, Россия
e-mail: [1]sophiyabr@gmail.com, [2]aalitvin@gmail.com, [3,4]aim@tesyan.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОГО НОВООБРАЗОВАНИЯ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Введение

Принятие диагностических решений в условиях ограниченности времени и ресурсов, дефицита экспертов, большого объема перерабатываемой противоречивой информации об объекте диагностики, например в медицине, сопровождается серьезными ошибками и рисками: по разным оценкам, примерно 30 % диагнозов ставится неверно [1]. В среднем расхождение посмертного и пожизненного диагнозов составляет 20—25 %.

В структуре онкологических заболеваний населения России в 2015 г. рак поджелудочной железы (РПЖ) составил 3,3 % [2]. Считается наиболее фатальным заболеванием, от которого погибают 95 % всех заболевших РПЖ. Раннее диагностирование РПЖ случается крайне редко. Решение проблемы ранней диагностики рака поджелудочной железы позволит улучшить результаты комплексного лечения пациентов с этим заболеванием.

Рассматриваются первые результаты системного анализа задачи диагностики злокачественного новообразования поджелудочной железы, в частности ее проблемной области и особенностей коллективных решений экспертов-врачей при диагностике данного онкозаболевания.

1. Методы и средства поддержки коллективного принятия диагностических решений

Для решения задачи поддержки коллективного принятия решений используются следующие основные подходы и методы: голосование [3]; модели агрегирования индивидуальных предпочтений [3]; групповой многокритериальный выбор [3]; коллектив решающих правил [4] содержит множество правил, формирующих окончательное решение; модели и методы принятия решений, основанные на парном сравнении альтернатив [5]; нечеткие модели принятия коллективных решений [6]; мультиагентные системы [7]; интегрированные экспертные системы [8]; гибридные интеллектуальные системы [9].

Метод на основе модели агрегирования индивидуальных предпочтений — набор правил, по которым формируются общие коллективные решения на основе индивидуальных решений, выдвигаемых каждым агентом. К *групповому многокритериальному выбору* относятся методы: многокритериальная теория полезности; методы, основанные на качественных измерениях, результаты которых переводятся в количественный вид; методы, основанные на

© Румовская С. Б., Литвин А. А., Молодченков А. И., Зубрихина М. О., 2018

количественных измерениях; методы, основанные на качественных измерениях без перехода к количественным переменным. *Мультиагентные системы* включают в себя несколько взаимодействующих агентов. Каждый агент автономен, взаимодействует с окружающей средой, обучается и обменивается знаниями с другими агентами.

В последнее время уделяется большое внимание исследованию когнитивных функций человека не только в самой психологии, но и в нейрофизиологии, и в искусственном интеллекте. Большое количество накопленного фактического материала используется для подтверждения разрозненных моделей отдельных психических функций (модели внимания Я. Б. Казановича, С. Фринтропа, С. Коха и др.). А моделирование процессов, например распознавания и планирования, стремятся реализовывать на некоторой «биологически инспирированной основе» (В. М. Курейчик, Дж. Р. Андерсон, П. Леирд и др.).

Касательно поддержки принятия диагностических решений, в частности в онкологии, превалирует одноаспектный, гомогенный подход, не учитывающий точки зрения всех специалистов-врачей, задействованных в процессе диагностики, и применяющий только один-два метода имитации интеллектуальной деятельности человека, в основном искусственные нейронные сети (ИНС) и/или нечеткую логику, или экспертные системы: 1) в работе [10], например, система диагностики РПЖ реализована как ИНС, на вход которой подается множество симптомов, представленных как лингвистические нечеткие переменные; 2) в [11] осуществлена экспертная система с базой знаний в виде таблицы значений, основанной на понятиях «отсутствие/наличие» симптомов, для определения наиболее вероятного заболевания (карциномы ПЖ, панкреатита или хронического панкреатита); 3) в [12—14] реализованы ИНС для дифференциальной диагностики РПЖ и хронического панкреатита; и др.

Для решения задачи разработки информационно-аналитических методов для коллективного принятия целенаправленного решения при моделировании врачебных консилиумов на примере задачи диагностики злокачественного образования поджелудочной железы (ПЖ) предполагается использовать комбинации когнитивных методов описания картины мира и адаптированных методов коллективного принятия решений.

2. Проблемная среда задачи диагностики рака поджелудочной железы

Богатое кровоснабжение ПЖ (рис. 1), близость магистральных сосудов, густая сеть анастомозов между лимфатическими сосудами и узлами способствуют раннему метастазированию [15]. ПЖ — сложный орган с экзокринной (предполагает выработку пищеварительных ферментов) и эндокринной функциями [16]. Эндокринная часть отвечает за выработку глюкагона и инсулина. Инсулин регулирует углеводный обмен и поддерживает необходимый уровень глюкозы в крови. Глюкагон регулирует уровень глюкозы в крови и влияет на метаболические процессы.

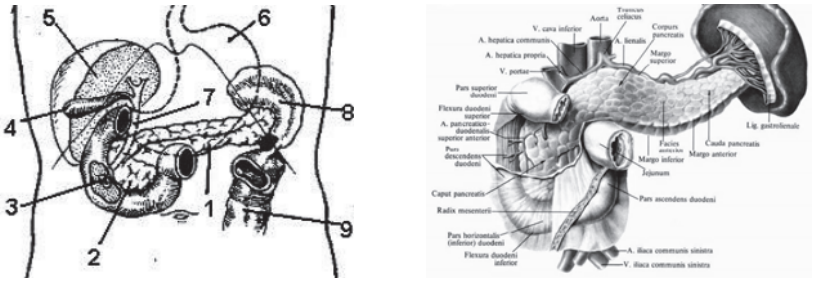


Рис. 1. Топография поджелудочной железы:
1 — поджелудочная железа; 2 — головка; 3 — большой дуоденальный сосочек;
4 — желчный пузырь; 5 — печень; 6 — желудок; 7 — общий желчный проток;
8 — селезенка; 9 — толстая кишка

Опухоли ПЖ (рис. 2) чаще всего выявляются на терминальной стадии заболевания, при этом в момент диагностирования заболевания резектабельность опухоли не превышает 10—15 %, а у остальных 85—90 % пациентов выявляется нерезектабельная опухоль с летальным исходом в течение одного года [15]. Низкая выявляемость рака на догоспитальном этапе приводит к снижению процента резектабельных опухолей.

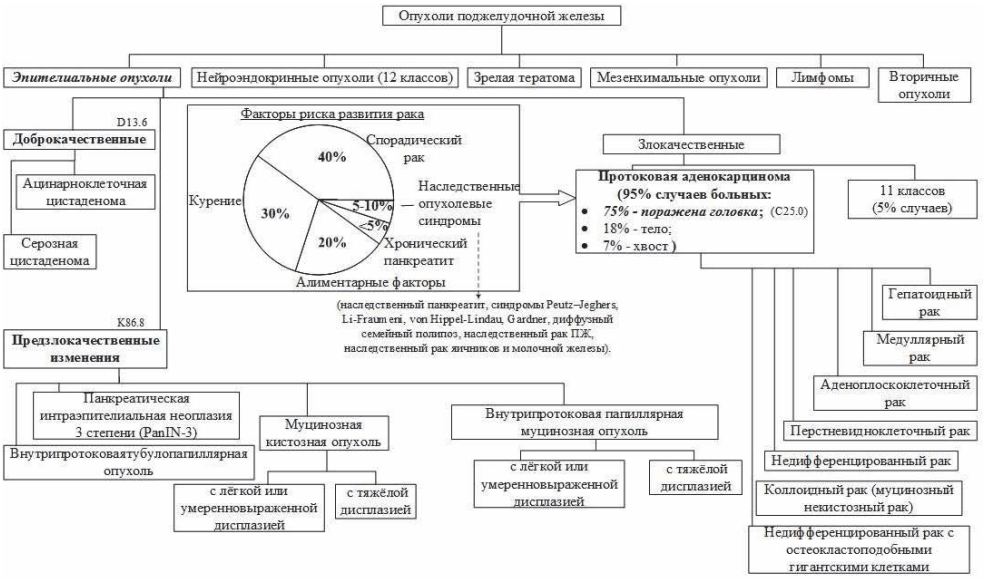


Рис. 2. Классификация и факторы риска опухолей поджелудочной железы

Самая частая форма рака поджелудочной железы [2] — протоковая аденокарцинома вместе с ее редкими семью микроскопическими вариантами

(95 % от всех первичных опухолей). Развивается она чаще у мужчин старше 40 лет. Локализуется преимущественно в головке поджелудочной железы (75 % наблюдений). Чаще всего РПЖ носит спорадический характер (40 %, рис. 2). Значительную роль на развитие заболевания оказывают курение, алкоголизм, хронический панкреатит, сахарный диабет, алиментарные факторы: чрезмерное употребление животных жиров, кофе и т. д. И примерно у 5—10 % больных возникновение РПЖ — результат наследственной патологии (наследственный панкреатит, рак и т. д.).

В рамках исследований предполагается рассматривать (на рис. 2 — жирным шрифтом): 1) доброкачественные (класс D13.6 согласно МКБ-10 [17]); 2) предзлокачественные изменения (класс K86.8); 3) и собственно злокачественная протоковая аденокрацинома (класс C25.0) — встречается в 95 % случаев. Локализация — преимущественно в головке ПЖ (75 %).

В диагностике заболевания участвуют (простые стрелки — рис. 3): лечащий врач (гастроэнтеролог или хирург); хирург и/или гастроэнтеролог — можно исключить, так как важны преимущественно для формирования тактики лечения; онколог по нехирургическому лечению; специалист по лучевой диагностике: компьютерная томография (КТ); магнитно-резонансная томография (МРТ); позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), — чаще всего есть данные только по КТ; специалист по ультразвуковому исследованию (УЗИ); врач лабораторной диагностики (интерпретирует данные лабораторных исследований) и патологоанатом (исследует материал биопсии); лицо, принимающее решение (ЛПР), — интеграционная функция — чаще заместитель главного врача по медицинской части, начмед.

Диагностика поджелудочной железы на предмет наличия РПЖ предполагает параллельное рассмотрение множества симптомов как с позиции дифференциации — выявление различий в проявлениях данной болезни и заболеваний со сходной клинической картиной, так и прямой диагностики, устанавливая диагноз по типичной совокупности признаков (рис. 3). Дифференциальная диагностика проводится в отношении [18] (двойные стрелки на рис. 3): гепатитов различной этиологии; доброкачественных заболеваний желчевыводящей системы; язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки; злокачественных новообразований гепатопанкреатодуоденальной зоны; опухолей иной локализации с метастазированием в лимфоузлы.

Для ранней диагностики рака поджелудочной железы предлагается использовать результаты следующих видов диагностики: 1) сбор анамнеза; 2) физикальное обследование; 3) лабораторная диагностика (общий анализ крови и мочи, биохимический анализ крови, коагулограмма, функциональная диагностика сердечно-сосудистой и легочной систем, определение опухолевых маркеров), неинвазивные (УЗИ, КТ, ПЭТ, рентгеноскопия, рентгенография) и инвазивные (лапароскопия, чрескожная тонкоигольная аспирационная биопсия под контролем УЗИ или КТ, фиброгастродуоденоскопия (ФГДС) и др.) диагностические методы.

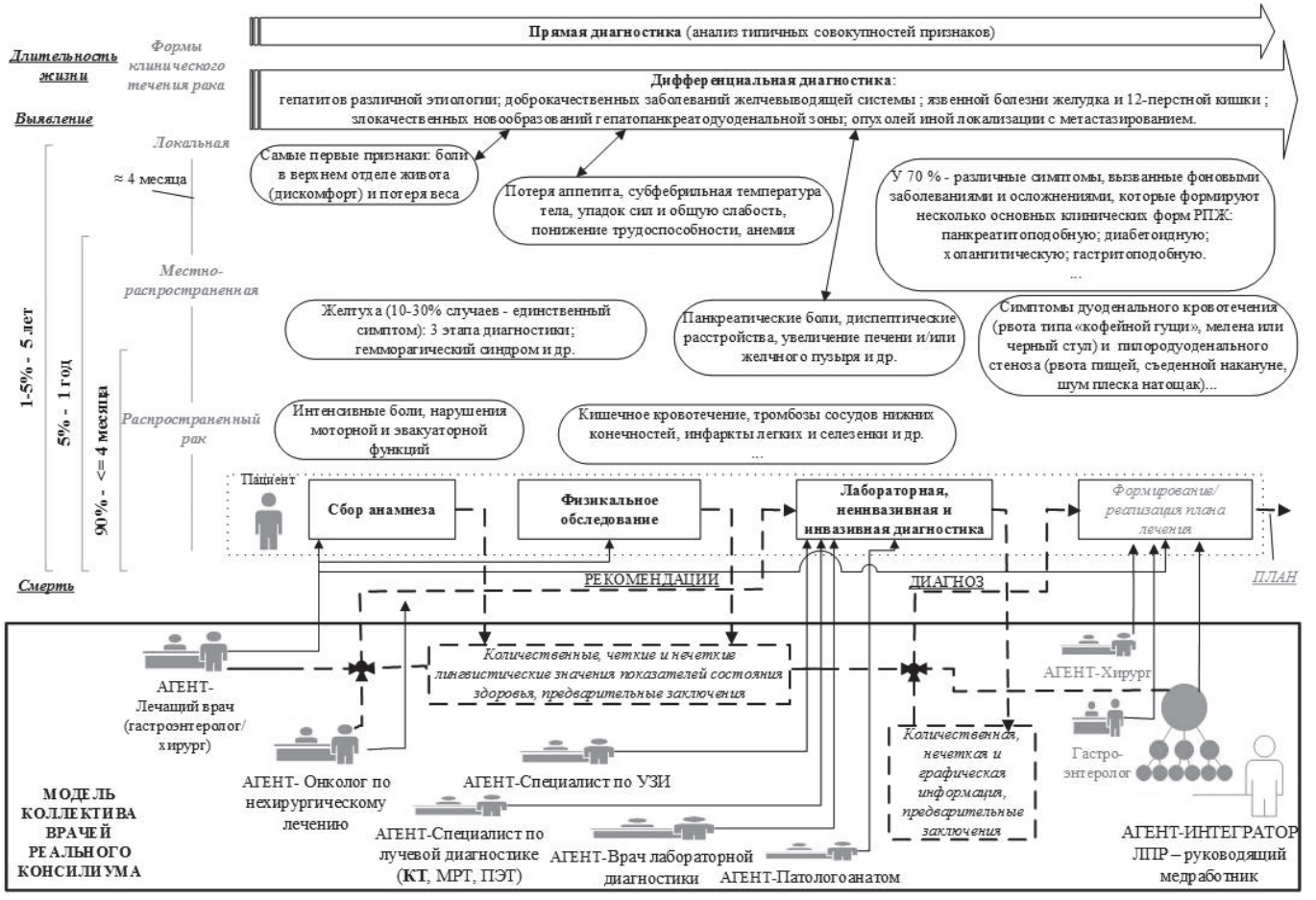


Рис. 3. Модель коллектива врачей реального консилиума и его место в диагностическом процессе рака поджелудочной железы

Среди неинвазивных методов диагностики для исследований выделены УЗИ и КТ, результаты которых превалируют при диагностике рака поджелудочной железы. Причем УЗИ является в основном скрининговым методом, который позволяет заподозрить РПЖ на амбулаторном этапе, но обладает недостаточной специфичностью. КТ, выполняемая с контрастным усилением, превосходит УЗИ по точности, но уступает в доступности и распространенности. Результаты инвазивных методов будут использоваться в готовом виде, пригодном для ввода в компьютер.

По результатам каждого диагностического этапа для консилиума формируются множества симптомов и промежуточных заключений специалистов (пунктирные стрелки на рис. 3), которые используются для формулирования рекомендаций по лабораторной, неинвазивной и инвазивной диагностике, а также для постановки диагноза, и в дальнейшем — формирования и реализации плана лечения (не включены в дальнейшие исследования).

Симптоматика РПЖ на ранних стадиях малоспецифична и больные длительно наблюдаются у участковых терапевтов по поводу *хронического гастрита*, *панкреатита*, *холецистита* и т.д. РПЖ выявляется случайно при обследовании по поводу другой патологии. При этом более 90% заболевших погибают в результате прогрессирующего рака спустя четыре месяца — одного года с момента выявления, пятилетняя выживаемость — 1—5%.

Выделяют следующие формы клинического течения РПЖ [18]: 1) локальная форма; 2) местно-распространенная; 3) распространенный рак. Из клинических проявлений самым ранним являются боли в верхней половине живота (носят характер дискомфорта) и потеря веса. При этом создается ошибочное впечатление *холецистита*, *язвенной болезни ДПК* или *заболевания правой почки*. При местно-распространенной форме [19] развиваются диспептические расстройства (анорексия, тошнота, отрыжка, изжога и др.) и приступы резких панкреатических болей. На данном этапе часто ставят ошибочный диагноз *хронического панкреатита с экзокринной недостаточностью*. Здесь же развивается желтуха, которая в 10—30% случаев становится практически единственным симптомом. В желтушный период запускаются три диагностических этапа: 1) определение формы желтухи; 2) определение характера механической желтухи; 3) уточнение топического диагноза.

Параллельно [18] может появиться безболезненное увеличение желчного пузыря, печени, обесцвечивание кала, потемнение мочи, кожный зуд, особенно по ночам. Развитие заболевания сопровождается различными осложнениями: геморрагический синдром (носовые кровотечения, кровавая рвота), дуоденальное кровотечение (рвота типа «кофейной гущи», черный стул), кишечное кровотечение, инфаркты легких и селезенки и др.

Множество разнородных симптомов и промежуточных диагнозов и синдромов, разнородных сопутствующих заболеваний и осложнений, необходимость расширенной дифференциальной диагностики и анализ графической информации, а также затруднения в выявлении заболевания на ранних стадиях требует коллективных диагностических решений.

3. К проблеме создания новых интеллектуальных методов и алгоритмов поддержки принятия целенаправленных решений коллективами агентов при моделировании консилиумов врачей

В рамках проекта предполагается разработать консилиум интеллектуальных агентов (рис. 4), соответствующих концептуальной модели консилиума в [20] и моделирующих работу экспертов-врачей разных специальностей, во главе с агентом-интегратором, моделирующим работу ЛПР, возглавляющего консилиум (заместитель главного врача по медицинской части, начмед), для решения задачи ранней диагностики рака поджелудочной железы. Каждому участнику консилиума (врачу-эксперту, ЛПР), специализирующемуся в своей области, соответствует агент, обладающий знаниями, которые будут описаны картиной мира в своей предметной области и моделироваться неоднородными семантическими сетями.

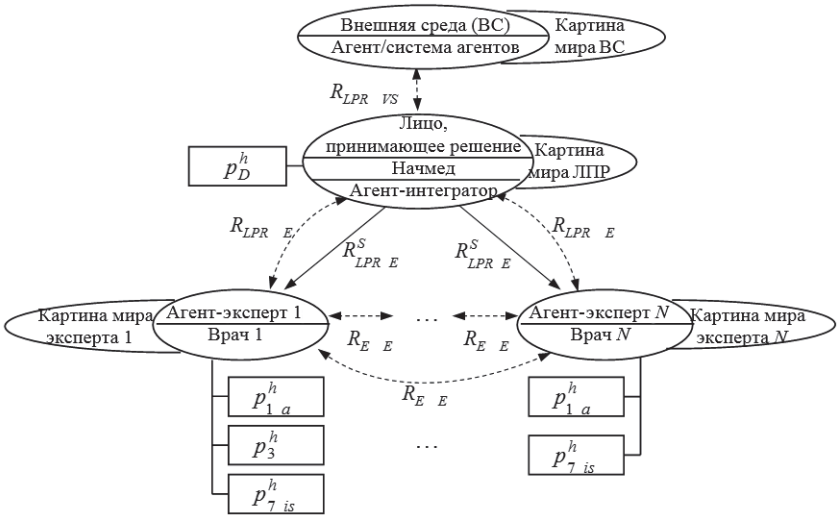


Рис. 4. Соответствие модели коллективного принятия решения консилиумом и многоагентной модели интеграции знаний с распределением решения подзадач: $R_{LPR\ \ VS}$, $R_{LPR\ \ E}$, $R_{E\ \ E}$ — отношения дополнительности «внешняя среда — лицо, принимающее решение», «лицо, принимающее решение, — эксперт», «эксперт — эксперт» соответственно; $R^S_{LPR\ E}$ — отношения сотрудничества «лицо, принимающее решение, — эксперт»

Варианты распределения подзадач будут храниться в картине мира ЛПР. Одна подзадача может решаться одним экспертом (p_3^h — рис. 4), либо требуются знания нескольких экспертов и тогда: ЛПР либо аддитивно объединяет частные заключения ($p^h_{1\ a}$), либо согласовывает и интегрирует по каждой такой подзадаче ($p^h_{7\ is}$). Кроме того, ЛПР решает задачу p_D^h интеграции всех

частных мнений экспертов, формируя заключительный диагноз. Отношениями сотрудничества $R^{S}_{LPR\ E}$ описываются условия ввода в консилиум экспертов, а двусторонние отношения дополнительности «ЛПР — эксперт» $R_{LPR\ E}$, «эксперт — эксперт» $R_{E\ E}$ описывают обмен информацией и частными диагностическими заключениями между участниками. Причем выполнение $R_{LPR\ E}$ позволяет ЛПР решать задачи интеграции всех мнений в окончательный диагноз. Внешней среде (активные группы, объединения людей с общими интересами по отношению к решаемой задаче) также при необходимости будет соответствовать агент или система взаимодействующих агентов.

Для построения картины мира (рис. 4) участников консилиума и соответствующих им агентов будет использована теория знаковой модели картины мира, предложенная Г.С. Осиповым и А.И. Пановым [21]. Формирование знаний картин мира интеллектуальных агентов предполагается на основе результатов извлечения теоретических знаний и ретроспективного и проспективного анализа историй болезни Калининградской областной клинической больницы и Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина в течение последних пяти лет.

Для обучения интеллектуальных агентов будут использоваться методы машинного обучения и приобретения знаний от экспертов, в частности интервьюирование. Для разработки метода коллективного принятия решений предполагается рассмотреть возможность адаптации алгоритма аргументации, например на основе пересматриваемых рассуждений [22]. Отдельно будут разработаны методы разрешения конфликтов в рассуждениях агентов.

Заключение

Данная работа содержит результаты первого этапа анализа проблемной среды задачи диагностики рака поджелудочной железы как сложной диагностической задачи, решаемой в условиях гетерогенности исходной информации и сопутствующих заболеваний и осложнений. Результаты предшествуют этапам идентификации, редукции сложной задачи и распределения подзадач по агентам — моделям экспертов и ЛПР. При этом исследование средств поддержки принятия решения в области онкологии подтвердило превалирование гомогенного подхода к диагностике и разработке компьютерных систем поддержки принятия решений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-29-07031 офи_м

Список литературы

1. Анамнез ошибки. URL: https://www.novayagazeta.ru/articles/2017/03/13/71761.

2. *Котельников А.Г., Патютко Ю.И., Трякин А.А.* Клинические рекомендации по диагностике и лечению злокачественных опухолей поджелудочной железы. URL: http://oncology-association.ru/clinical-guidelines.

3. *Петровский А.Б.* Теория принятия решений : университетский учебник. М. : Академия, 2009.

4. *Растригин Л.А., Эренштейн Р.Х.* О принятии решения коллективом решающих правил / Приборостроение. 1973. Т. 16, № 11. С. 31—35.

5. *Блюмин С.Л., Шуйкова И.А.* Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. Липецк : ЛЭГИ, 2001.

6. *Аверкин А.Н. и др.* Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Поспелова Д.А. М. : Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986.

7. *Виттих В.А., Моисеева Т.В., Скобелев П.О.* Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий // Онтология проектирования. 2013. № 2. С. 20—25.

8. *Рыбина Г.В.* Интегрированные экспертные системы: современное состояние, проблемы и тенденции // Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. № 5. С. 111—126.

9. *Колесников А.В., Кириков И.А.* Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.

10. *Ramana Murty N. V., Prasad Babu M. S.* Pancreatic Cancer Detection and Diagnosis Expert System using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic Techniques / IJCSN International Journal of Computer Science and Network. 2016. Vol. 5, № 6. P. 873—877.

11. *Гончарова А.Б., Сергеева Е.И.* Система поддержки принятия решений в медицине для диагностики заболеваний // Инновации в науке: научный журнал. 2017. № 1. С. 23—25.

12. *Norton I.D., Zheng Y., Wiersema M.S. et al.* Neural network analysis of EUS images to differentiate between pancreatic malignancy and pancreatitis // Gastrointestinal endoscopy. 2001. Vol. 54. P. 625—629.

13. *Ikeda M., Ito S., Ishigaki T., Yamauchi K.* Evaluation of a neural network classifier for pancreatic masses based on CTfindings // Computerized Medical Imaging and Graphics. 1997. Vol. 21, № 3. P. 175—183.

14. *Mattfeldt T., Gottfried H., et al.* Classification of spatial textures in benign and cancerous glandular tissues by stereology and stochastic geometry using artificial neural networks / Journal of Microscopy. 2000. Vol. 198, № 2. P. 143—158.

15. *Вардеванян О.П.* Комплексная оценка компьютерно-томографических критериев для оптимизации дифференциальной диагностики новообразований билеопакреатодуоденальной зоны : дис. ... канд. мед. наук. Ереван, 2016.

16. *Михин И.В., Кухтенко Ю.В.* Рак и гормонально-активные опухоли поджелудочной железы : учеб. пособие. Волгоград : Изд-во ВолгГМУ, 2014.

17. *Международная* статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем : в 3 т. / пер. с англ. М.В. Максимовой и др. М. : Медицина, 1997. Т. 1, ч. 1.

18. *Прохоров А.В., Шепетько М.Н., Папок В.Е.* Опухоли поджелудочной железы: учеб.-метод. пособие. Минск : БГМУ, 2013.

19. *Маев И.В., Кучерявый Ю.А.* Болезни поджелудочной железы : практ. руководство. М. : ГЕОТАР-Медиа, 2009.

20. *Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В. и др.* «Виртуальный консилиум» — инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений / Информатика и ее применения. 2016. Т. 10, № 3. С. 81—90.

21. *Осипов Г.С., Панов А.И. и др.* Знаковая картина мира субъекта поведения. М. : Физматлит, 2017 (принята к публикации).

22. *Моросин О. П.* Исследование и разработка системы аргументации на основе пересматриваемых рассуждений для задачи обобщения : дис. ... канд. тех. наук. М., 2015.

С.А. Солдатов
АО Крафтвэй, Москва, Россия
e-mail: ssoldatov@kraftway.ru

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Современное машиностроительное предприятие представляет собой не только комплекс высокотехнологичных станков и другого технологического оборудования, но и множество разнородных информационных систем различного назначения. К таким системам относятся: ERP-системы — управление предприятием в целом, контроль выполнения стратегических и тактических задач предприятия, ведение заказов; PLM-система — управление жизненным циклом продукции; MES-система — управление производством; SCADA-система — управление АСУ ТП, мониторинг технологических процессов.

Все системы разнородны, решают разные задачи, имеют разные временные горизонты, отличаются по перечню программных интерфейсов и входных и выходных данных. Помимо этого все программные системы необходимо увязывать с разнообразным оборудованием предприятия. Это делает процесс интеграции информационных систем непрозрачным и сложным, требующим разработки специализированных систем, увязывающих разнородные источники информации на предприятии. При этом необходимо обеспечить безопасность, надежность и целостность, используемых на предприятии программных средств.

Поскольку в общемировой и в российской практике еще нет единого подхода к реализации подобных комплексов, остается широкий простор для исследований вопросов интеграции информационно-программных средств как между собой, так с высокотехнологичным оборудованием.

1. Проблемы построения цифрового машиностроительного производства

Цифровое машиностроительное производство — новый этап эволюционного развития машиностроительного предприятия. Его основные признаки — применение инновационных систем автоматизации, роботизации и безлюд-

© Солдатов С. А., 2018

ных технологий, а также высокая степень интеграции средств проектирования и моделирования изделий [1; 2]. На ряде существующих в России предприятий, особенно связанных с производством высокотехнологичной продукции, уже внедряются или частично внедрены элементы цифрового производства. Основная проблема заключается в том, что внедрение происходит хаотично без учета необходимости интеграции внедряемых программных средств, обеспечения информационной безопасности, масштабируемости.

При реализации принципов цифрового предприятия на уже существующем производстве исследователи сталкиваются с рядом проблем [3; 4]:

— необходимость детального предпроектного обследования: нередко сотрудники предприятия не в курсе всего многообразия используемых программных средств, а организационные средства конфликтуют между собой;

— потребность анализа сетевой инфраструктуры предприятия: цифровое предприятие требует организации гетерогенной сетевой инфраструктуры, обеспечивающий сбор и передачу информации по различным каналам, имеющим как различную физическую среду передачи, так и разные протоколы обмена;

— необходимость анализа состояния информационной безопасности: для обеспечения информационной безопасности необходима оценка угроз, выявление уязвимых мест, определение границ между отдельными структурными уровнями, в противном случае возможно как случайное, так и целенаправленное нарушение работы цифрового предприятия;

— анализ серверной инфраструктуры предприятия: зачастую серверная инфраструктура не обеспечивает равномерность загрузки вычислительных мощностей, упускается необходимость резервирования вычислительных мощностей; последнее крайне важно для цифрового производства, так как даже кратковременный простой может привести к большим финансовым потерям;

— требуется анализ и классификация технологического оборудования: суть анализа — это ревизия технологического оборудования, что это за оборудование, имеется ли возможность интеграция (штатная или необходима доработка);

— создание единообразного классификатора для материалов, промежуточных заготовок и технологического оборудования: часто в разных информационных системах предприятия одно и то же оборудование называется и обозначается по-разному, в отрыве как от назначения оборудования, так и его места размещения; классификация должна нивелировать эту проблему.

Ранее с подобным кругом проблем уже столкнулись разработчики электронных устройств. Нередко проектирование электронной платы производилось одним предприятием, далее выполнялась коррекция под разработанный конструктив, а после — коррекция под возможности предприятия изготовителя. На каждом из этапов осуществлялось конвертирование между форматами программных средств, применение к проекту различных, зачастую несогласованных экспертных правил. В результате это приводило к увеличению

сроков разработки, росту затрат и ухудшению потребительских свойств производимой продукции из-за потери части информации при конвертациях и отсутствию согласованности между участвующими в разработке экспертами.

Внедрение в производстве электронных устройств комплексных средств разработки и технологического контроля, охватывающих все этапы производства и обеспечивающих выполнение онлайн-проверок, позволяет скоординировать работу различных производственных подразделений и компаний и существенно уменьшить потери от ранее обозначенных проблем [5].

Подобный подход применим и для цифрового машиностроительного производства. Ведущие зарубежные фирмы (Siemens, General Electric и др.) уже сейчас обеспечивают поставку заранее проверенных на информационную и технологическую совместимость программно-аппаратных комплексов для всех уровней управления машиностроительного предприятия.

2. Состав задач системы управления машиностроительным производством

В общем случае система управления современного машиностроительного производства обеспечивает решение задач в соответствии с жизненным циклом изделия [6]: размещения заказа на производстве; обеспечения подготовки конструкторской и технологической документации; заказа комплектующих и материалов; изготовления продукции; технического контроля продукции; отгрузки и поставка продукции заказчику; послепродажное обслуживание.

Для повышения конкурентоспособности предприятия и обеспечения защиты окружающей среды в систему управления могут включаться задачи модернизации изготовленной продукции и ее утилизации, также входящие в жизненный цикл изделия.

Помимо указанных задач система управления предприятием должна охватывать ряд вспомогательных задач: бюджетирование, бухгалтерская отчетность, управление кадрами и производственными ресурсами.

Система управления цифровым машиностроительным производством решает тот же круг задач, но с более глубокой автоматизацией процессов и интеграцией программных средств. В то же время для цифрового машиностроительного производства характерен ряд новых задач: централизованный сбор и накопление данных о производстве, обеспечение их достоверности и актуальности; анализ больших объемов данных с целью выявления скрытых закономерностей; поддержание единой информационной среды за счет автоматической конвертации различных форматов данных; поддержание единых классификаторов; обеспечение информационной безопасности.

3. Аспекты интеграции информационно-программных средств управления машиностроительным предприятием

Практика внедрения систем управления на промышленных предприятиях и обзор литературы позволяет обозначить ряд аспектов интеграции информационно-управляющих систем машиностроительного предприятия.

В классической теории управления выделяют три уровня управления: стратегический, тактический и оперативный. Из названия уровней следует, что каждый из них предназначен для решения определенного круга задач. К сожалению, в попытках охватить все и сразу разработчики ряда известных информационно-программных средств включают в их состав элементы управления сразу нескольких уровней, при этом не в полной мере реализуя необходимый функционал. В результате после выбора программных средств оказывается, что значительный объем информации дублируется в различных информационных системах. Поэтому интеграцию необходимо начинать с разграничения функциональности программных средств, это позволит исключить дублирование функционала и, как следствие, хранение избыточных данных.

Система планирования — неотъемлемая часть системы управления любого промышленного предприятия. Но несмотря на многообразие средств производственного планирования, в них на уровне оперативного планирования зачастую упускается элемент коллективного принятия решения в ходе последовательности планерок с координацией участников процесса планирования диспетчером производства. В результате производственный план создается единовременно, без возможности коррекции и без учета необходимости координации всех участников планирования. Исходя из этого, следует внедрять средства решения комплекса подзадач по подготовке и выполнению производственного задания с учетом координации участников планирования диспетчером производства. При этом необходимо учесть современные наработки в области использования BIG DATA как средства накопления данных и выявления новых знаний.

Построение единого комплекса управления цифровым производством невозможно без интеграции в него информационно-программных средств работы с технологической информацией и управляющими программами. Многообразие выпускаемой продукции зачастую обеспечивается не кардинальной переработкой и разработкой новой конструкторской документации, а изменением технологических режимов производства и заменой используемых материалов. Основная сложность — в многообразии средств представления управляющих программ, зависящих от производителя оборудования и его конкретной модификации. Необходимо построение универсального транслятора, позволяющего на основе описания технологии строить управляющие программы для различного оборудования. Также требуется применение методов оптимизации хранения технологической информации и ее архивации.

Немаловажный аспект интеграции — организация эффективного использования вычислительных мощностей предприятия, во избежание как простоя, так и недозагрузки.

В ходе интеграции должна быть создана система управления и мониторинга технологического оборудования. Для этого следует определить способы взаимодействия оборудования с магистральной сетью передачи данных пред-

приятия, выбрать способы опроса и определения состояния оборудования, внедрение средств и методов диагностирования и прогнозирования состояния оборудования, в том числе применение средств искусственного интеллекта.

Перечисленные аспекты не только отражают практический опыт, но и подчеркивают проблематику интеграции программно-информационных средств и подводят к необходимости создания гетерогенной системы управления цифровым промышленным производством, охватывающей все информационные системы предприятия и высокотехнологичное оборудование.

Заключение

Многообразие программно-аппаратных средств на машиностроительном предприятии, вариативность выпускаемой продукции, используемых материалов и технологий крайне затрудняет построение системы управления цифровым промышленным производством. Необходимость внедрения современных интеллектуальных способов управления также накладывает дополнительные сложности. При этом отсутствуют типизированные решения и общие подходы к решению задачи интеграции.

В совокупности это делает актуальным вопрос разработки комплексной методики построения гетерогенной системы управления цифровым промышленным производством. В рамках нее должны быть определены перечни информационных систем предприятия, потоки информации между системами и содержимое этих потоков. Сформулированы типовые перечни должностных обязанностей сотрудников, работающих с информационными системами. Разработаны классификаторы материальных и нематериальных ресурсов, которыми оперируют на предприятии. Определены процессы трансформации (переработки) ресурсов, а также проанализировано территориальное размещение подразделений предприятия с целью оптимального размещения вычислительных мощностей.

Список литературы

1. Цифровое производство. Фонд перспективных исследований. URL: http://fpi.gov.ru/activities/areas/physics/modelirovanie.

2. Цифровое производство: Siemens PLM Software. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/plm/digital-manufacturing.shtml.

3. *Солдатов С.А.* Интеграция SCADA-систем и систем управления предприятием // Современные технологии автоматизации. 2016. № 1. С. 90—94.

4. *Степанов Д.Ю.* Интеграция ERP и MES-систем: взгляд сверху // Современные технологии автоматизации. 2016. № 2. С. 108—111.

5. *Акулин А.* Новые возможности САПР Cadence OrCAD и Allegro Venture 17.2 // Современная электроника. 2018. № 1. С. 72—79.

6. Р 50-605-80-93. Рекомендации. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения. URL: http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/so-postanovlenija/t8g.htm.

А. И. Ширяев, И. Н. Нехаев
Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
e-mail: andrew.shiryayev@gmail.com

ДВУХЭТАПНЫЙ МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ ПИСЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ

Введение

Компании выделяют значительные ресурсы для общения со своими клиентами. Постоянно растущая доля этого общения идет по электронной почте; отделы маркетинга, продаж и обслуживания клиентов, а также специализированные центры обработки запросов должны обрабатывать большие объемы писем, содержащих повторяющиеся рутинные вопросы. Представляется слишком амбициозным полностью автоматизировать этот процесс, но это влечет за собой большую выгоду.

1. Проблематика

Решить проблему ответа на электронные письма значительно сложнее, чем проблемы фильтрации спама и сортировки электронной почты по папкам. Чтобы обучить систему, необходимо определить стандартные ответы, а в качестве учебных экземпляров для классификатора подготовить входящие сообщения. На некоторую часть всех входящих сообщений в корреспонденции компании можно ответить одним из стандартных ответов.

Особенностью имеющихся условий решения задачи классификации писем является то, что письма могут: а) содержать текст письма, б) тело письма может состоять только из двух-трех слов, в) не содержать тела письма, текст письма может быть написан в теме. Поэтому необходимо обратить внимание на: а) предварительный отбор классифицируемых писем, б) сравнение и выбор способа создания сбалансированной выборки для обучения, в) сравнение и выбор метода классификации.

В настоящее время существует несколько основных подходов к классификации текстов:

— методы на основе bag-of-words, bag-of-terms: TF-IDF [1] предполагает, что значимость *n*-граммы прямо пропорциональна частоте ее появления в документе и обратно пропорциональна доле документов в наборе, в которых эта *n*-грамма встречается; BM-25 [2] ограничивает значимость частоты *n*-граммы, нормализуется по его размеру и ограничивается сверху, что позволяет избежать присваивания слову слишком большого веса [3];

— методы тематического моделирования: LSA (Deerwester и др. [4]) использует метод singular value decomposition (SVD) для понижения размерности; с помощью SVD-разложения любая матрица раскладывается во множе-

© Ширяев А. И., Нехаев И. Н., 2018

ство ортогональных матриц, линейная комбинация которых — точное приближение к исходной матрице; NMF (Xu и др. [5]) как и в LSA, данные отображаются в новое пространство с целью максимизировать разброс по каждой из его осей; в отличие от LSA, в NMF новое пространство может быть не ортогонально, а также все элементы матрицы неотрицательны; LDA (Blei и др. [6]) делает предположения о случайном распределении векторов тем и векторов документов;

— методы на основе Word embeddings [7]: Continuous Bag-of-Word (CBOW) использует окружающие слова, но предсказания не зависят от их порядка; Skip-gram предсказывает окружающие слова, основанные на текущем слове.

В работе исследуется применимость одной из известных технологий векторного представления слов Word2Vec. Другие способы векторного представления, такие как GloVe, не рассматриваются из-за того, что их основной недостаток — высокая вычислительная стоимость, поскольку операции, выполняемые для оценки векторов, недостаточно масштабируемы. В этом причина популярности моделей Word2Vec.

2. Предлагаемая методика исследования

Для исследования подготовлена выборка, состоящая из 86933 электронных писем. Из общего потока писем необходимо классифицировать только часть. В выборке 7449 писем имеют один из семи ярлыков (стандартных ответов), которые определяют содержание тела письма. Первый ярлык — 2284 писем, второй ярлык — 1359, третий ярлык — 1382, четвертый ярлык — 439, пятый ярлык — 308, шестой ярлык — 337, седьмой ярлык — 1340.

Предлагаемая методика исследования состоит из следующих этапов: использование модифицированной технологии Word2Vec для представления текстов писем; рассмотрение способов борьбы с дисбалансом классов; изучение различных моделей классификации; оценка результатов.

Чтобы улучшить точность модели Skip-Gram или увеличить скорость обучения, было предложено несколько изменений ее архитектуры: применение иерархического Softmax [8], уменьшающего количество вычислений до $\log_2 N$, представляя выходной уровень как сбалансированное двоичное дерево; использование альтернативы иерархической функции Softmax — Noise Contrastive Estimation (NCE), сокращающей количество вычислений, необходимых для вывода и обратного распространения [9].

Вместо вычисления распределения вероятностей по всем возможным целевым словам, NCE использует логическую регрессию, чтобы отличить целевые образцы от распределения шума. NCE максимизирует логарифмическую вероятность Softmax. Mikolov и др. упрощают NCE путем введения Negative Sampling (NEG), который использует только образцы из шумового распределения и устраняет потребность в числовых вероятностях самого распределения шума. Либо NCE, либо NEG заменяют выражение для $\log P(w_{n+j} \mid w_n)$ в

целевой функции Skip-Gram, и сеть обучается с использованием сигналов обратного распространения, возникающих из вероятностей, предсказанных для образцов шума, и фактических контекстных слов во время обучения.

Для борьбы с дисбалансом классов применялось несколько подходов: 1) создание синтетических образцов; известны алгоритмы, которые можно использовать для создания синтетических образцов, самый популярный из них — SMOTE или Synthetic Minority Over-Sampling Technique[10]; 2) использование части данных большего класса; на каждой итерации добавляется случайным образом только часть данных из большего класса.

Исследованы следующие модели классификации: *случайный лес* (Random Forest) — алгоритм, подверженный переобучению; для достижения высокой точности RF создает большое количество экземпляров на основе «мешков»; для каждого образца — новый классификатор; различные классификаторы обрабатывают данные и посредством голосования они усредняются; *градиентный бустинг* (XGB) — алгоритм, основанный на слабых классификаторах; идея состоит в том, чтобы следующий классификатор улучшал результаты предыдущего; для каждой итерации RF классификатор обучается независимо от остальных.

Для оценки результатов применялись следующие подходы:

1. Матрица ошибок (Confusion matrix) — макет таблицы, который позволяет визуализировать производительность алгоритма. Каждая строка матрицы представляет экземпляры в прогнозируемом классе, в то время как каждый столбец представляет экземпляры в реальном классе.

2. Точность и полнота (Precision and Recall). Точность — доля документов, действительно принадлежащих данному классу относительно всех документов, которые система отнесла к этому классу. Полнота — доля найденных классификатором документов, принадлежащих классу относительно всех документов этого класса в тестовой выборке.

3. F-мера — гармоническое среднее между точностью и полнотой.

4. Accuracy — доля документов, по которым классификатор принял правильное решение.

3. Результаты экспериментов

В ходе эксперимента построено две модели: для выделения классифицируемых писем из общего потока и присвоения класса этим письмам.

Для получения векторов слов использовалась реализация Word2Vec в genism [11] с skip-gram моделью, отрицательной выборкой (NEG), размером вектора 100 и размером окна 12.

На первом этапе выделялись классифицируемые письма из общего потока. Необходимо было решить задачу классификации с сильно несбалансированной выборкой (рис. 1). Разметка писем нулем и единицей осуществлялась: единица присваивалась письмам с одним из семи ярлыков, а ноль — всем остальным.

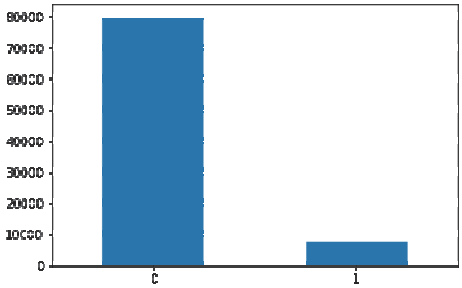


Рис. 1. Дисбаланс выборки:
0 — неклассифицируемые, 1 — классифицируемые письма

Таблица 1

Результаты первого этапа

Модели	Precision	Recall	F1	Accuracy
Word2Vec (NEG) mean + XGBoost	**0,81**	0,69	0,74	**0,9337**
Word2Vec (NEG) mean + XGBoost (SMOTE)	0,73	**0,80**	0,76	0,9158
Word2Vec (NEG) mean + XGBoost (custom sampler)	0,76	0,76	0,76	0,9267
Word2Vec (NEG) mean + XGBoost (custom sampler) — ансамбль	0,76	0,78	**0,77**	0,9262

На втором этапе требуется присвоить один из семи ярлыков (классов) письмам. Необходимо решить задачу классификации. В данном эксперименте для сравнения будут использоваться несколько классификаторов: RandomForest и XGBoost.

Применялись различные методы получения векторов предложения: среднее из векторов Word2Vec: берется среднее значение всех векторов слов в предложении; средний вектор представляет вектор предложения; среднее значение векторов Word2Vec с TF-IDF: берутся векторы слов, умножаются на веса TF-IDF и берется среднее значение всех векторов; среднее значение векторов Word2Vec с SIF: берутся векторы слов, умножаются на веса Smooth Inverse Frequency (SIF) [12] и берется среднее значение всех векторов.

Таблица 2

Результаты второго этапа

Модели	Precision	Recall	F1	Accuracy
Word2Vec mean + XGBoost	0,88	0,87	0,87	0,9184
Word2Vec (NEG) mean + XGBoost	0,88	0,88	0,88	0,9200
Word2Vec (NEG) mean + RandomForest	0,86	0,83	0,84	0,8974
Word2Vec (NEG) mean + SIF веса + XGBoost	0,88	0,88	0,88	0,9232
Word2Vec (NEG) mean + TF-IDF веса + XGBoost	**0,89**	**0,89**	**0,89**	**0,9323**

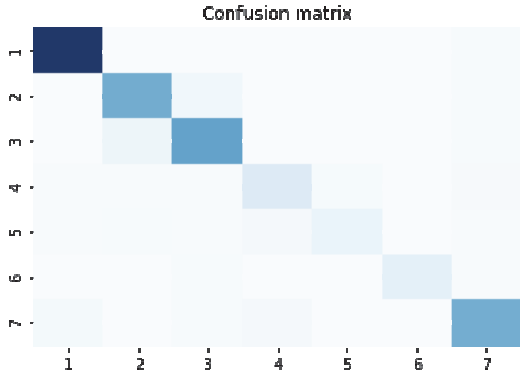


Рис. 2. Word2Vec (NEG) mean + RandomForest

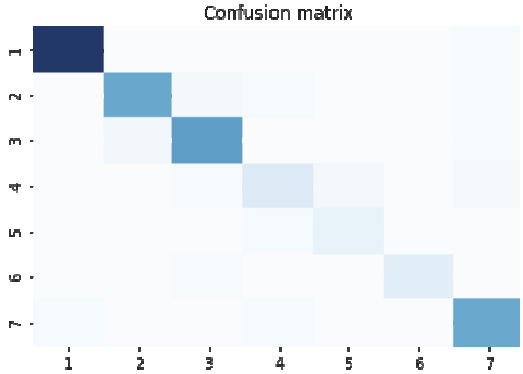


Рис. 3. Word2Vec (NEG) mean + TF-IDF веса + XGBoost

Заключение

В работе экспериментально проверены методы классификации текстовых сообщений. Эксперименты показали, что лучшим методом на первом уровне можно считать Word2Vec (NEG) и ансамбль XGBoost. Генерация синтетических образцов улучшила модель, но подход с подачей случайной части набора данных при тренировке модели показал результаты выше (f1-score). На втором уровне был выбран подход: Word2Vec (NEG) с tf-idf весами и XGBoost классификатор. Эксперименты показали, что комбинирование методов может улучшить результат известных подходов.

Список литературы

1. *Gerard S., Christopher B.* Termweighting approaches in automatic text retrieval / Information processing & management. 1988. Vol. 24(5). P. 513—523.

2. *Whissell J.S., Clarke C.L.A.* Improving document clustering using Okapi BM25 feature weighting // Information retrieval. 2011. Vol. 14(5). P. 466—487.

3. *Aggarwal C.C., Zhai C.X.* Mining text data. Springer Science & Business Media, 2012.

4. *Deerwester S., Dumais S.T., Furnas G.W. et al.* Indexing by latent semantic analysis // Journal of the American society for information science. 1990. Vol. 41(6). P. 391—407.

5. *Xu W., Liu X., Gong Y.* Document clustering based on non-negative matrix factorization // Proceedings of the 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2003. P. 267—273.

6. *Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I.* Latent dirichlet allocation // Journal of machine Learning research. 2003. Vol. 3(Jan). P. 993—1022.

7. *Mikolov T., Chen K., Corrado G. et al.* Efficient estimation of word representations in vector space: URL: https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf.

8. *Bengio Y., Ducharme R., Vincent P. et al.* A neural probabilistic language model // Journal of Machine Learning Research. 2003. Vol. 3(6). P. 1137—1155

9. *Gutmann M.U., Hyvärinen A.* Noise-contrastive estimation of unnormalized statistical models, with applications to natural image statistics // The Journal of Machine Learning Research. 2012. Vol. 13. P. 307—361.

10. *Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O., Kegelmeyer W.P.* SMOTE: synthetic minority over-sampling technique // Journal of artificial intelligence research. 2002. Vol. 16. P. 321—357.

11. *Rehurek R., Sojka P.* Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora // Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks. Valletta, Malta : University of Malta, 2010. P. 45—50.

12. *Arora S., Liang Y., Ma T.* A simple but tough-to-beat baseline for sentence embeddings: URL: https://openreview.net/pdf?id=SyK00v5xx.

Секция 3

МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И РОЕВОЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

Руководители секции — д-р физ.-мат. наук., доц. А. В. Павлов
канд. техн. наук, доц. В. Б. Тарасов

А. Н. Аверкин[1], С. А. Ярушев[2]
[1]Вычислительный центр им. А. А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия
[2]Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия
e-mail: [1]averkin2003@inbox.ru, [2]Sergey.Yarushev@icloud.com

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЛУБИННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Введение

Рассматривается задача построения гибридной системы прогнозирования временных рядов на основе глубинных нейронных сетей и когнитивного моделирования. Подобный подход позволяет учитывать как количественные, так и качественные характеристики временного ряда. Для полноты картины приводятся особенности нечетких когнитивных карт и их применение в задачах прогнозирования временных рядов. Также представлен разработанный генетический алгоритм обучения нечетких когнитивных карт, позволяющий избежать трудоемкой задачи ручной настройки когнитивной карты. Для решения проблемы работы со слабоструктурированными данными, которые зачастую имеют место в задачах прогнозирования временных рядов, предлагается применение глубинных архитектур нейронных сетей, так как подобные сети способны оперировать с такого типа данными и показывают наиболее достоверные результаты.

1. Гибридная система прогнозирования временных рядов

Разработанная система прогнозирования базируется на модулярной архитектуре, придающей системе дополнительную устойчивость: даже если один из модулей выходит из строя, остальные модули продолжают выполнять свою работу.

Система имеет три основных модуля, отвечающих за задачу прогнозирования. Глубинная нейронная сеть выполняет прогноз временного ряда на основе численных показателей и дает так называемый количественный прогноз, результаты которого проходят через систему верификации (оценки адекватности прогноза); если прогноз соответствует необходимой точности, то он

© Аверкин А. Н., Ярушев С. А., 2018

передается на следующий модуль. Параллельно с глубинной сетью работает модуль с нечеткой когнитивной картой, который получает на вход данные о событийном влиянии на временной ряд, строится когнитивная карта, учитывающая все факторы влияния на конкретный прогнозируемый показатель. На выходе когнитивная карта дает прогноз с вероятностью его выполнения, т. е. с консонансом фактора, который оценивает, выполнится прогноз или нет. Далее все данные, полученные с этих модулей, поступают на третий модуль, работающий на основе нейро-нечеткой сети, агрегирующий информацию, полученную с предыдущих модулей, и выдающий итоговый прогноз. На рисунке представлена схема системы прогнозирования.

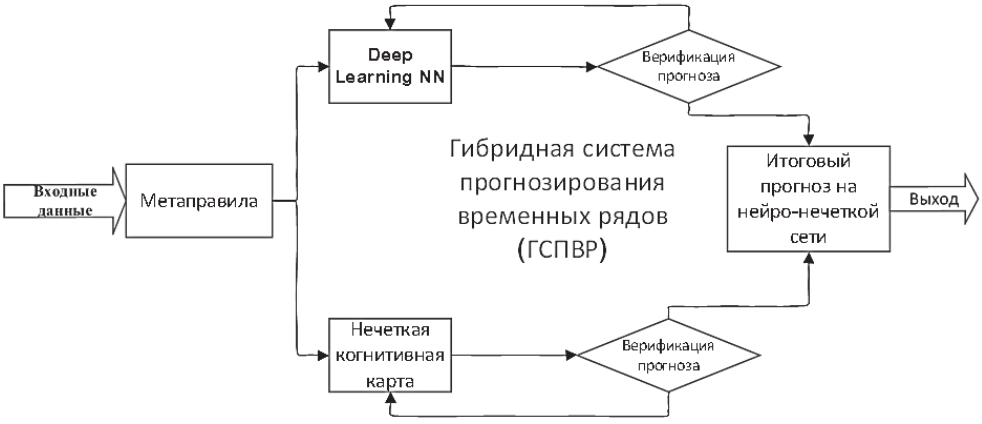


Рис. Модулярная гибридная система прогнозирования временных рядов

Остановимся подробнее на прогнозировании посредством нечетких когнитивных карт и их обучении, так как прогнозам на нейро-нечетких сетях посвящено достаточно большое количество исследований [1], а ситуация с когнитивными картами немного иная.

2. Нечеткие когнитивные карты в прогнозировании

Временным рядом управляют две основные «силы» — время и события, влияющие на изменение с течением времени значений временного ряда. Большинству подобных событий сопутствует неопределенность. Каждому значению временного ряда можно поставить в соответствие нечеткую переменную с некой функцией принадлежности. В этой связи наибольший интерес для нашего исследования представляют методы, основанные на теории нечетких множеств. Л. Заде в 1965 г. ввел понятие нечеткого множества, благодаря которому можно описывать качественные, нечеткие понятия и знания об окружающем мире, а в дальнейшем оперировать ими для получения новой информации [2]. Применение нечетких множеств позволяет формализовать лингвистическую информацию в математических моделях [3]. В основе не-

четких множеств лежит суждение, что элементы принадлежат данному множеству в различной степени, а высказывания вида «такой-то элемент принадлежит данному множеству» бессмысленны [4].

Чтобы иметь возможность оперировать событиями, влияющими на временной ряд, — а событий может быть достаточно много, и каждое может быть связано друг с другом, — имеет смысл использовать нечеткие когнитивные карты. Они позволяют построить причинно-следственные связи между событиями и качественный прогноз развития события, основываясь на силе влияния одного события на другое.

Когнитивная карта — ориентированный граф, в котором вершины — это факторы ситуации, а взвешенные дуги — причинно-следственные отношения, вес которых отражает силу влияния факторов ситуации. Направленным дугам графа приписывается знак «+» или «–», они могут быть положительными или отрицательными. Положительная связь означает, что увеличение значения фактора-причины приводит к увеличению значения фактора-следствия, а отрицательная дуга означает, что увеличение значения фактора-причины приводит к уменьшению значения фактора-следствия.

На когнитивных картах решаются задачи нахождения и оценивания влияний факторов ситуации, а также получения по вычисленным влияниям прогнозов развития ситуации.

В настоящее время для вычисления влияний и прогнозов развития ситуации широко применяются нечеткие когнитивные карты, предложенные Б. Коско [5]. В них сила влияния между факторами задается с помощью лингвистических значений, выбранных из упорядоченного множества возможных сил влияний, а значения факторов, их приращения задаются в лингвистическом виде и выбираются из упорядоченных множеств возможных значений фактора и его возможных приращений — шкал факторов и шкал приращений.

Для построения когнитивной карты, отражающей динамические свойства наблюдаемой ситуации необходимо определить шкалы значений факторов и их приращений.

Для построения шкалы фактора специфицируется и структурируется множество его лингвистических значений. При определении лингвистических значений используются абсолютные значения фактора, а не его оценки типа «большой», «средний» и «маленький». Например, лингвистическим значением температуры может быть следующие: «так горячо, что едва можно приложить ладонь» или «так холодно, что рука сразу замерзает», а не просто «горячо» или «холодно». При таком определении лингвистических значений факторов ситуации задается объективный эталон его значения — опорная точка, что облегчает работу экспертов при определении силы влияния факторов и уменьшает экспертные ошибки.

Задача прогноза сводится к макстриангулярной композиции матрицы весов и вектора начальных приращений признаков.

Этот алгоритм работает для положительно определенных матриц, в то время как в нашем случае элементы матрицы смежности и векторов приращений могут принимать отрицательные и положительные значения.

Используется следующее правило преобразования матрицы смежности $W = \left| w_{ij}\ sl \right| n \times n$ с положительными и отрицательными элементами к положительно определенной двойной матрице $W' = \left| w'_{ij}\ sl \right| 2n \times 2n$ [6]:

если $\left(w_{ij}\ sl \right) > 0$, то $w'_{i(2j-1)}\ s\left(2l-1\right) = w_{ij}\ sl, \quad w'_{i(2j)}\ s\left(2l\right) = w_{ij}\ sl$;

если $\left(w_{ij}\ sl \right) < 0$, то $w'_{i(2j)}\ s\left(2l\right) = -w_{ij}\ sl, \quad w'_{i(2j)}\ s\left(2l-1\right) = -w_{ij}\ sl$.

Начальный вектор приращений $P(t)$ и вектор прогнозных значений признаков $P(t+1)$ в этом случае должен иметь размерность $2n$. Правило получения начального вектора приращений $P'(t)$ размерности $2n$ из вектора начальных приращений $P(t)$ размерности n следующее:

если $p_{ij}(t) > 0$, то $p'_{i(2j-1)}(t) = p_{ij}(t), \ p'_{i(2j)}(t) = 0$;

если $p_{ij}(t) < 0$, то $p'_{i(2j)}(t) = p_{ij}(t), \ p'_{i(2j-1)}(t) = 0$.

В векторе $P'(t) = (p_{11}^{-}, p_{11}^{+}, ..., p_{nm}^{-}, p_{nm}^{+})$ значение признака f_{ij} характеризуют два элемента: элемент с индексом $2j$ характеризуют положительное p_{ij}^{+}, а с индексом $2j-1$ — отрицательное p_{ij}^{-}, приращение признака f_{ij}.

Тогда двойной вектор приращений $P'(t+1)$ для положительно определенной матрицы W' определяется следующим уравнением:

$$P'(t+1) = P'(t) \circ W',$$

где для вычисления элемента вектора $P'(t+1)$ используется правило:

$$p'_{ij}(t+1) = \max_{sl}(p'sl(t) \cdot w'_{ij}\ sl).$$

Элементы векторов приращений значений признаков, полученные в последовательные моменты времени $P'(t+1), \ldots, P'(t+n)$, после транспонирования представляются в виде блочной матрицы:

$$P_t = | P'(t+1)T, ..., P'(t+n)T |.$$

Строки этой матрицы — значения приращения одного признака в последовательные моменты времени, столбцы — значения приращения всех признаков в момент времени, соответствующий выбранному столбцу. Матрица P_t называется матрицей приращений и используется при работе алгоритмов объяснения прогнозов развития ситуации [7].

3. Обучение НКК на основе генетического алгоритма

Предположим, что имеем набор из 3*N* строк исторических данных (далее — материал обучения) о состоянии концептов в системе. С точки зрения задачи прогнозирования на основе приращений концептов приращения концептов от *i*-й итерации к (*i*+1) итерации составят исходный вектор приращений. В этом случае нечеткая когнитивная карта должна показать, что при подобном исходном векторе приращений значения концептов изменятся таким образом, что результирующие их приращения приведут к значениям на (*i* + 2) итерации.

Пусть $A_i(t)$ — значение концепта e_i в момент времени t. Исходя из спецификации материала обучения, данной выше, будем рассматривать тройки строк $A_i(t)$, $A_i(t+1)$, $A_i(t+2)$.

Определим $x_i = \frac{A_i(t+1) - A_i(t)}{A_i(t)}$, $y_i = \frac{A_i(t+2) - A_i(t)}{A_i(t)}$. Здесь x — это исходные вектора приращений, y — результирующие вектора приращений. Пусть $o_i(t)$ — приращение e_i, полученное в результате прогноза на исходном векторе $o(t)$.

Задача обучения состоит в минимизации ошибки нечеткой когнитивной карты с учетом введенных в данном параграфе значений *x*, *y*, *o*.

Для решения задачи обучения предлагается использовать генетический алгоритм. В качестве *хромосомы* выделяется одномерный массив значений, в который разложен двумерный массив весов нечеткой когнитивной карты. Каждое значение в массиве — *ген*. Определим основные шаги алгоритма.

1. Для всех ненулевых значений весов исходной карты определяется новое ненулевое значение веса, задаваемое малым случайным числом (знак не важен). Исходные ненулевые значения весов определяются экспертом (ненулевое значение может быть любым, его единственное предназначение — указание о том, что, по мнению эксперта, между двумя выбранными концептами существует причинно-следственная связь).

2. Пункт 1 повторяется *PopulationSize* раз. Таким образом, формируется первоначальная популяция случайных решений.

3. Определяется функция приспособленности (*fitness function*) для каждой хромосомы (о виде функции приспособленности — ниже).

4. Определяется пул родителей по методу «рулетки».

5. В пул родителей добавляются «элитные особи». Под «элитными особями» в генетических алгоритмах подразумеваются особи, показавшие наилучшее значение функции приспособленности на нескольких последних поколениях (по одной особи от поколения).

6. Скрещивание хромосом, попавших в пул родителей. Для хромосом *A* и *B*, например, оно происходит следующим образом. Случайно определяется граница скрещивания *l*. Обозначим A_{1+} часть хромосомы *A*, состоящую из

генов, расположенных начиная с l, и A_{l-} — часть хромосомы, расположенную до l. Тогда результатом скрещивания будут две хромосомы: $A_{l-}B_{l+}$ и $B_{l-}A_{l+}$. Вероятность скрещивания определена заранее. Если скрещивания не происходит, обе родительские хромосомы без изменений переходят в популяцию потомков.

7. Из потомков, полученных на шаге 6, формируется новая популяция, а ее размер в точности совпадает с размером популяции на предыдущем шаге алгоритма.

8. Мутации в популяции потомков: выбирается случайный ген и заменяется на новое случайное значение. Вероятность мутации определена заранее. Если мутации нет, хромосома переходит на следующую итерацию алгоритма неизменной.

9. Определяются следующие параметры поколения: элитная особь, обладающая наилучшим значением степени приспособленности, для сохранения ее генофонда; среднее значение приспособленности популяции (имеет значение только для оценки сходимости алгоритма); значение приспособленности элитной особи.

10. Если значение приспособленности элитной особи больше заранее заданного значения максимальной приспособленности, алгоритм останавливается, выбранная хромосома раскладывается в матрицу смежности нечеткой когнитивной карты и обучение считается завершенным. Иначе переход на шаг 3.

Концепция элитных особей введена в алгоритм для ускорения его сходимости. Количество элитных особей взято равным 60, в то время как размер популяции равен 100. Таким образом, на каждом шаге после 60-го поколения только 40 хромосом из текущей популяции имеют шансы на скрещивание — остальные заполняют элитный генофонд, доставшийся в наследство от предыдущих популяций.

Максимальное значение приспособленности — 0,99. Результаты обучения округляются до сотых долей.

Вероятность скрещивания определена как 0,9, а вероятность мутации — 0,5. Столь высокое значение вероятности мутации, обычно нехарактерное для генетических алгоритмов, в данном случае оправданно, так как мутации вносят генетическое разнообразие в популяцию, а поскольку используется элитный генофонд, нет риска безвозвратно «потерять» полезные гены, доставшиеся от предыдущих поколений.

4. Глубинные нейронные сети в прогнозировании

Глубокое обучение — обучение представлениям (англ. *feature/representation learning*). Методы глубокого обучения были известны еще в 1980-е гг., но результаты не впечатляли [1], пока продвижения в теории искусственных нейронных сетей (предобучение нейросетей с помощью специального случая

ненаправленной графической модели, так называемой ограниченной машины Больцмана) и вычислительные мощности середины 2000-х (прежде всего, графических процессоров Nvidia, а в настоящее время и тензорных процессоров Google) не позволили создавать сложные технологические архитектуры нейронных сетей с достаточной производительностью. Они дали возможность решать задачи, не поддававшиеся эффективному решению ранее, например в компьютерном зрении, машинном переводе, распознавании речи, причем качество решения во многих случаях стало сопоставимо, а в некоторых случаях превосходит эффективность «белковых» экспертов. В отличие от машинного обучения, глубинное обучение требует большего объема обучающей выборки, нежели в случае с машинным обучением. Также, в отличие от машинного обучения, глубинная нейронная сеть может иметь тысячи слоев. Все это помогает глубинным нейронным сетям достигать достаточно высокой точности в задачах анализа, классификации и распознавания изображений. Основной недостаток глубинного обучения — огромная ресурсоемкость: обучающая выборка включает миллион изображений и более, а обучение занимает несколько дней. Чтобы ускорить этот процесс, применяются GPU-процессоры.

На сегодняшний момент существуют библиотеки для глубинных нейронных сетей. Наиболее популярные из них — *Tensor Flow* и *Keras*, которые могут использоваться в задачах прогнозирования. В работе ученых из Австралии [7] система *Keras* используется для краткосрочного прогнозирования энергопотребления в частном секторе. Данная задача — весьма сложная, с сильно варьируемыми показателями. Эксперименты подтвердили эффективность прогнозирования глубинными нейросетями.

Заключение

Была представлена гибридная модель системы прогнозирования, основанная на глубинных нейронных сетях, нечетких когнитивных картах и нейро-нечеткой сети ANFIS. Это начало исследований применительно к глубинным нейронным сетям в задачах прогноза. Как показывают последние исследования, этот класс нейронных сетей имеет перспективы в задачах прогнозирования.

Список литературы

1. *Yarushev S.A., Averkin A.N.* Review of studies on time series forecasting based on hybrid methods, neural networks and multiple regression // Программные продукты и системы. 2016. № 1 (113). С. 75—82.

2. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М. : Мир, 1976. С. 172—215.

3. *Ротштейн А.П., Штовба С.Д.* Нечеткая надежность алгоритмических процессов. Винница : Континент-Прим, 1997.

4. *Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. и др.* Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М. : Наука, 1986.

5. *Kosko B.* Fuzzy cognitive maps // International journal of man-machine studies. 1986. Vol. 24, № 1. P. 65—75.

6. *Yarushev S.A., Averkin A.N.* Time Series Analysis Based on Modular Architectures of Neural Networks // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 123. P. 562—567.

7. *Kong W. et al.* Short-Term Residential Load Forecasting based on Resident Behaviour Learning // IEEE Transactions on Power Systems. 2018. Vol. 33, № 1. P. 1087—1088.

С.С. Анцыферов[1], К.Н. Фазилова[2], К.Е. Русанов
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия
e-mail: [1]c_standard@fel.mirea.ru, [2]fazilova@mirea.ru

ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПОЛЕЙ

Введение

По мере расширения круга решаемых задач и их усложнения к системам предъявляются все более жесткие требования по основным показателям их эффективности. Актуальность данной проблемы обусловливается как возрастающей информационной сложностью исследуемых явлений и процессов, так и увеличивающейся в ряде случаев интенсивностью обрабатываемых информационных потоков.

В работах [1—9] были обозначены направления повышения интеллектуального потенциала адаптивных информационно-распознающих систем (АИРС), реализующих методологию структурно-стохастической аппроксимации информации пространственно-временных полей и процесса их обработки, определены принципы адаптации параметров обрабатывающих алгоритмов. Выход АИРС на новый, более высокий уровень сложности переводит их в разряд вычислительных интеллектуальных систем (ВИС) обработки, возможно с распределенной многокомпонентной и многосвязной структурой, что, в свою очередь, требует при разработке таких систем не только учета закономерностей их построения, функционирования, развития и осуществимости, но и определения адекватных оценок основных системных параметров, показателей свойств [10—14].

В связи с ростом требований к точности (достоверности) результатов обработки информации огромное внимание уделяется проблеме создания гибридных интеллектуальных систем, т.е. систем, осуществляющих обработку информации на уровне ее «понимания» с широким использованием базы знаний (БЗ).

Цель работы — определение основных показателей свойств вычислительных и гибридных интеллектуальных систем.

© Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е., 2018

1. Показатели свойств вычислительных интеллектуальных систем

Обработка пространственно-временного поля в АИРС производится на каждом такте t_k, т. е. в каждый момент времени поступления очередной его реализации. По окончании обработки выдается результат в виде некоторого сообщения $a_k = \{n; a_1, ..., a_n\}_k$, где n — число отдельных (парциональных) сообщений. Для всей последовательности реализаций поля может быть построена траектория изменения значений векторов сообщений во времени $a_l(t)$, представляющая, по существу, образ поля. В качестве образа структурно-подобного подмножества полей будет выступать не отдельная траектория, а некоторая их совокупность — трубка близких, в некотором смысле, траекторий A_l. В качестве меры близости текущей b_k и эталонной a_k траекторий используется вероятностная мера — максимум апостериорной вероятности принадлежности (меры принадлежности) к образу, обеспечивающий минимум средних потерь:

$$\eta_l \equiv \tilde{P}_l(k) = \frac{P_l(k) P_l(a_k | b_k)}{\int\limits_A P_l(k) P_l(a_k | b_k) da_k}, \qquad (1)$$

где $P_l(k)$ имеет смысл априорной плотности вероятности принадлежности текущего сообщения траектории $a_l(t)$, а $P_l(a_k | b_k)$ — функции правдоподобия.

Для отыскания пространства образов, обеспечивающего минимум средних потерь, можно использовать рекуррентное соотношение следующего вида:

$$\rho_k = \rho_{k-1} - D_k^{-1} g(b_k, a_k) \nabla_\rho \eta_l(b_k, \rho_{k-1}). \qquad (2)$$

Здесь критерием оптимизации параметров образов ρ_k служит градиент меры принадлежности $\nabla_\rho \eta_l(b_k, \rho_{k-1})$ к образу, $g(b_k, a_k)$ — функция потерь, D_k^{-1} — весовая матрица. Данный критерий оптимизации позволяет существенно ускорить процесс адаптации, особенно в случае перекрывающихся трубок траекторий, не меняя по существу режим распознавания, в котором главным критерием остается $MAX\,\eta_l \equiv MAX\tilde{P}_l$. Важная новая составляющая процесса адаптации — формирование «следов» текущей траектории — результатов коррекции параметров существующих образов. Это позволяет путем определения меры принадлежности опорной траектории к «следу» и последующего определения градиента меры ее принадлежности к опорному и скорректированному образам принять одно из решений: текущая траектория принадлежит трубке (образу) A_l, а ее след A_l' — скорректированный опорный образ A_l; «след» текущей траектории — прообраз и в дальнейшем служит основой для формирования новой трубки траекторий (нового образа).

Следствие взаимного перекрытия трубок траекторий (образов) — изменение уровня (меры) информативности векторов сообщений. Кроме того, в процессе динамических наблюдений меры информативности элементарных компонентов поля, а соответственно и описывающих эти компоненты векторов сообщений, непрерывно изменяются за счет процесса усиления одних и ослабления других компонентов. В качестве оптимального правила оценки значений мер информативности векторов сообщений, адекватного многокомпонентному характеру реализаций поля и учитывающего существование некоторого закона информативной связи между значениями парциального сообщения $b_j \equiv \left\{\beta_j^k\right\}$ в различные моменты времени, можно использовать определение апостериорной плотности вероятности математического ожидания переменной идентификации $\overline{e}_{jl}^k$ в *k*-й момент времени при условии, что известны аналогичные оценки и значения сообщения β_j во всех предыдущих тактах

$$\hat{\mu}_{jl}^k \equiv \tilde{P}\left(\overline{e}_{jl}^k\right) = P\left(\overline{e}_{jl}^k \mid \overline{e}_{jl}^1,...,\overline{e}_{jl}^{k-1};\beta_j^1,...,\beta_j^k\right). \tag{3}$$

Вводя марковскую аппроксимацию на последовательное изменение меры информативности сообщения от одного момента времени до другого, получим взаимосвязанную пару рекуррентных соотношений, позволяющую находить оценки мер информативности как в данный момент времени, так и в следующий:

$$\tilde{P}\left(\overline{e}_{jl}^k\right) = \frac{P\left(\overline{e}_{jl}^k\right)P\left(\overline{e}_{jl}^k \mid \beta_j^k\right)}{\int\limits_B P\left(\overline{e}_{jl}^k\right)P\left(\overline{e}_{jl}^k \mid \beta_{jl}^k\right)d\beta}; \tag{4}$$

$$P\left(\overline{e}_{jl}^k\right) = \int\limits_E \tilde{P}\left(\overline{e}_{jl}^{k-1}\right)P\left(\overline{e}_{jl}^k \mid \overline{e}_{jl}^{k-1}\right)de. \tag{5}$$

Соотношения (4) и (5) обеспечивают возможность построения стохастических образов мер информативности каждого из элементарных компонентов и соответствующих им векторов сообщений. Определение функции правдоподобия $P\left(\overline{e}_{jl}^k \mid \beta_j^k\right)$ осуществлялось исходя из того, что ее вид должен соответствовать наихудшему виду функции распределения для каждого из сообщений (диагностических параметров), т. е. виду, приводящему к образованию зон взаимного перекрытия между трубками, к размытию границ между ними. Аппроксимация потока векторов сообщений марковским процессом определяет вид стохастического образа динамики этого потока. Наличие данного образа полностью раскрывает механизм селекции сообщений, что обеспечивает устойчивость режимов обработки информации.

Исследование скорости сходимости (скорости адаптации) при различной степени взаимного перекрытия трубок траекторий (1 — 0 %, 2 — 2—3 %, 3 —

4—7 %, 4 — 8—10 %) показало, что ухудшение сходимости до некоторых пределов почти пропорционально увеличению степени перекрытия, после чего сходимость просто не достигается (кривая 4 на рис. 1).

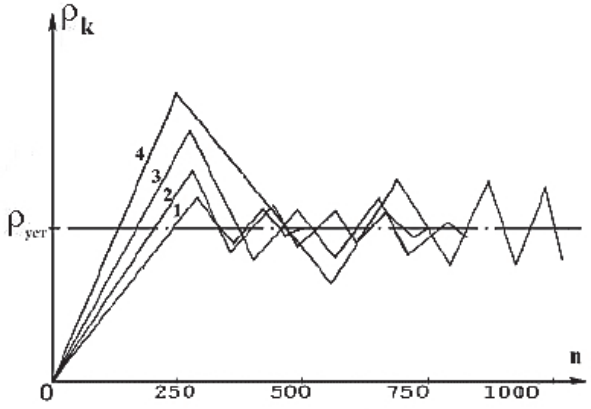


Рис. 1. Зависимости скорости сходимости от степени перекрытия

Наличие в составе трубок неверно отнесенных к ним траекторий (погрешности адаптации) снижает скорость сходимости. Вероятность ошибки распознавания (рис. 2) с учетом погрешностей адаптации определяется следующим соотношением:

$$\tilde{P}_{ош} = \frac{1}{2}\left(1 - \left|2P - 1\right|\right) + \left|2P - 1\right| P_{ош}, \qquad (6)$$

где $P_{ош}$ — вероятность ошибки при отсутствии погрешности адаптации; P — вероятность отсутствия погрешностей адаптации.

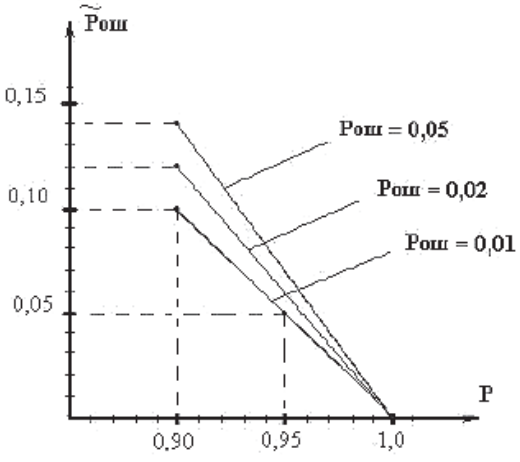


Рис. 2. Зависимость достоверности распознавания от погрешности адаптации

Эксперименты по использованию АИРС для решения задач ранней диагностики опухолевых заболеваний молочной железы при проведении массовых профилактических обследований показали, что в результате адаптации обучающая выборка пространственно-временных тепловых полей оказалась разделенной на три существенные с точки зрения конечного результата трубки траекторий (рис. 3) мер принадлежности: трубка 1 соответствует классу нормы, 2 — мастопатии, 3 — подозрению на сложную патологию.

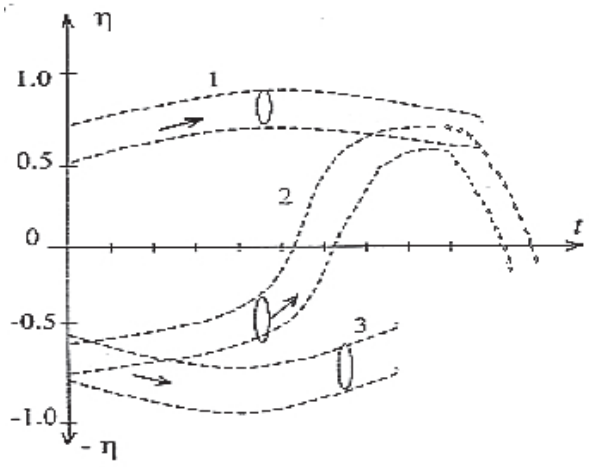


Рис. 3. Трубки траекторий мер принадлежности

Вместе с тем ВИС не обеспечивает возможности дифференциальной диагностики сложных заболеваний, т.е. распознавания образов, входящих в состав трубки траекторий 3.

Данная задача может быть решена путем использования накопленной (постоянно пополняемой) базы знаний, устанавливающей взаимообусловленные корреляционные связи между формами проявления сложных патологий и структурой пространственно-временного поля. Для этого необходима гибридная интеллектуальная система, объединяющая принципы построения ВИС с методами представления и обработки знаний.

2. Показатели свойств гибридных интеллектуальных систем

Носители знаний в предлагаемой ГИС — так называемые активные элементы (АЭ), между которыми в процессе адаптации (обучения или самообучения) могут устанавливаться стохастические связи (каждого с каждым), обеспечивающие их информационное взаимодействие и тем самым решение конкретной задачи. В состав АЭ входят основная база знаний и ряд подсистем, предназначенных для извлечения знаний, обработки внешней и внутренней информации, формирования цели, обучения и самообучения, контроля и диагностики, диалогового общения.

В ходе функционирования всех АЭ, входящих в состав ГИС, происходит постоянное взаимное информирование, представляющее собой семантическую операцию, содержащую множество взаимосвязанных процедур: генерирование, передача, прием, хранение, восприятие, понимание, принятие решения. Принятие решения — акт выбора одной из заданного количества альтернатив по установленному критерию — сводится к формально-логическим операциям и реализуется программным способом или специальным логическим блоком.

Модель динамики функционирования ГИС установлена в [15—17]. Согласно данной модели, гибридная интеллектуальная система может иметь два фазовых портрета (рис. 4), характеризующих устойчивое (кривая 1) и неустойчивое (кривая 2) функционирование системы.

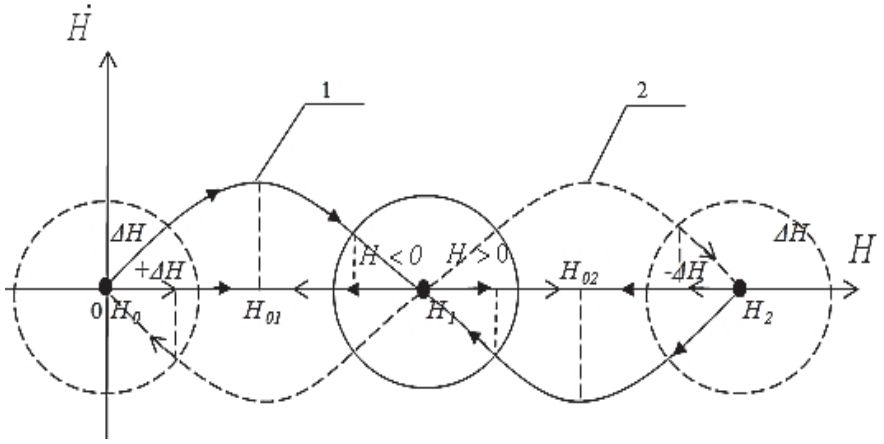


Рис. 4. Фазовый портрет функционирования

В случае устойчивого функционирования при $H_0 = 0$ система, согласно имитационной динамической модели [18], характеризуется полной определенностью, т. е. однозначно определены функции каждого АЭ и связи между ними, что в целом характерно для традиционных технических систем. При возникновении приращения информационного потока, в частности его семантического содержания, за счет реакции АЭ возникает приращение энтропии $+\Delta H$ и система переходит в режим адаптации. Как показывает диаграмма устойчивого функционирования, происходит «движение» от точки H_0 к H_1; при этом на отрезке H_0H_{01} действует механизм положительной обратной связи.

В случае неустойчивого функционирования, характеризуемого фазовым портретом (кривая 2, рис. 4), при H_0 нарастание информационного потока сопровождается действием механизма отрицательной обратной связи, что приводит к возврату в исходную точку H_0 («отказ» от решения новой задачи). При нахождении системы в точке H_2 также действует механизм отрицательной обратной связи («отказ» от решения каких-либо задач).

Заключение

Определены следующие показатели свойств интеллектуальных систем: достоверность получаемых результатов; скорость адаптации систем; устойчивость. Разработана методология оценки показателей устойчивого функционирования гибридных интеллектуальных систем.

Список литературы

1. *Анцыферов С. С.* Формирование спектра тепловых изображений и распознавание их образов // Оптический журнал. 1999. Т. 66, № 2. С. 44—48.

2. *Antsyferov S. S.* Forming the spectrum of thermal images of objects and recognizing their patterns // J. Opt. Technol. 1999. Vol. 66(12). P. 1047—1049.

3. *Анцыферов С. С., Евтихиев Н. Н.* Адаптация информационно-распознающих биомедицинских систем // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. Т. 3, № 10. С. 52—57.

4. *Анцыферов С. С.* Метрология виртуальных систем // Измерительная техника. 2003. № 5. С. 17—21.

5. *Анцыферов С. С., Евтихиев Н. Н.* Адаптивные системы распознавания образов пространственно-временных полей // Искусственный интеллект. 2004. № 3. С. 405—416.

6. *Анцыферов С. С., Евтихиев Н. Н.* Адаптивная обработка информации пространственно-временных изотропных полей // Оптический журнал. 2006. Т. 3, № 10. С. 52—57.

7. *Анцыферов С. С.* Метрология интеллектуальных систем // Искусственный интеллект. 2008. № 3. С. 18—27.

8. *Анцыферов С. С.* Повышение интеллектуального потенциала адаптивных информационно-распознающих систем // Искусственный интеллект. 2010. № 4. С. 330—336.

9. *Анцыферов С. С.* Общие принципы построения и закономерности функционирования интеллектуальных систем // Искусственный интеллект. 2011. № 3. С. 6—15.

10. *Анцыферов С. С.* Вопросы метрологического обеспечения интеллектуальных систем // Мир измерений. 2012. № 5. С. 46—51.

11. *Анцыферов С. С.* Метрологические основы формирования информационного пространства образов в интеллектуальных системах обработки // Искусственный интеллект. 2012. № 4(58). С. 283—291.

12. *Анцыферов С. С., Русанов К. Е.* Быстродействие интеллектуальных систем // Искусственный интеллект. 2013. № 4(62). С. 259—265.

13. *Анцыферов С. С.* Стандартизация показателей качества продукции когнитивных технологий // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, № 7. С. 7—13.

14. *Анцыферов С. С.* Проблемы искусственного интеллекта // Проблемы искусственного интеллекта. 2015. № 0(1). С. 5—12.

15. *Анцыферов С. С., Фазилова К. Н., Русанов К. Е.* Показатели неравновесной устойчивости когнитивных систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2016. № 2 (3). С. 4—11.

16. *Анцыферов С. С., Фазилова К. Н., Русанов К. Е.* Стандартизация показателей неравновесной устойчивости когнитивных систем // Наукоемкие технологии. 2017. № 5. С. 15—20.

17. *Анцыферов С. С., Фазилова К. Н., Русанов К. Е.* Определение показателей устойчивого функционирования нейроподобных систем // Материалы XXV всероссийского семинара «Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных / Институт вычислительного моделирования СО РАН. Красноярск, 2017. С. 8—13.

18. *Анцыферов С. С., Фазилова К. Н., Русанов К. Е.* Имитационная динамическая модель когнитивных систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2017. № 2(5). С. 32—39.

А. А. Захаров, А. Л. Жизняков
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Муром, Россия
e-mail: aa-zaharov@ya.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВИЗУАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ПРИЗНАКОВ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Введение

Поиск объектов на изображениях — актуальная задача в различных областях компьютерного зрения: человеко-машинные интерфейсы, системы автономной навигации, биометрия, дистанционное зондирование Земли, базы данных изображений, системы контроля технологических процессов и т. д. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в течение последних десятилетий, имеющиеся в настоящее время методы компьютерного зрения далеки от зрительной системы человека по надежности и производительности. Особый интерес представляет разработка методов и алгоритмов высокой точности и низкой вычислительной сложности. Цель исследования — разработка метода визуального внимания на основе структурного комплексирования разнородных признаков цифровых изображений.

Модели визуального внимания принято делить на восходящие и нисходящие [1]. Восходящие модели (*bottom-up*) основаны на низкоуровневых характеристиках визуальной сцены. Области интереса в восходящих моделях должны быть достаточно заметными по отношению к окружающим объектам. Восходящие модели внимания характеризуются высокой скоростью обработки, опережающим действием, однако они соответствуют только небольшой части функций внимания человека. Нисходящие модели (*top-down*) определяются когнитивными явлениями: ожиданиями, текущими целями и задачами. Соответственно реализация нисходящих моделей визуального внимания отличается медлительностью по сравнению с реализациями восходящих подходов, но позволяет выделить смысловое содержание сцены.

© Захаров А. А., Жизняков А. Л., 2018

Большинство моделей внимания на основе компьютерного зрения выдвигает пространственный подход в качестве основного. Поэтому, задача визуального внимания исследуется на пиксельном уровне без учета концепции объекта. В последнее время некоторые исследования используют нисходящий объектно-ориентированный анализ для визуального внимания. Однако практически не существует исследований, в которых объединяются пространственный и объектно-ориентированный анализ в одном контексте.

Объектно-ориентированный подход основан на выборе объекта или группы объектов. В этом случае области, которые не содержат объектов, не учитываются в системе внимания. В настоящее время в зарубежной литературе наблюдается значительный интерес к нисходящему объектно-ориентированному подходу визуального внимания. Но до сих пор существует множество задач, которые еще предстоит решить. Особенно данная тема актуальна для систем реального времени, функционирующих в открытых динамических средах.

Основа предлагаемого подхода — использование структурной информации, что позволяет анализировать большое множество элементов на основе малого количества простых составляющих и правил формирования графической модели. Научная новизна исследования — методы визуального внимания, основанные на структурном анализе объектов и сцен, а также комбинировании восходящего и нисходящего механизмов. Структурное комплексирование признаков при реализации модели визуального внимания осуществляется на основе графов соответствий.

1. Разработка метода визуального внимания на основе структурного комплексирования разнородных признаков цифровых изображений

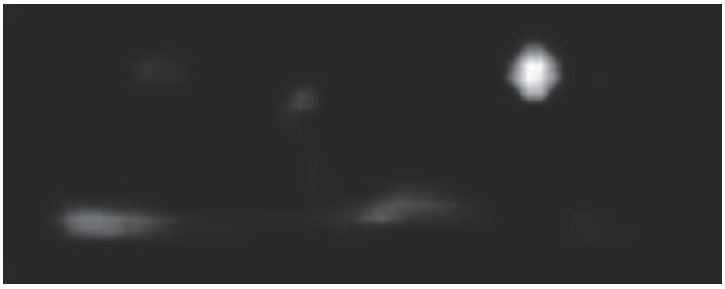
Разрабатываемые методы визуального внимания на основе структурного подхода позволят использовать семантические составляющие анализируемых сцен в области распознавания объектов, визуального поиска, анализа действий, предсказания ситуаций. Предлагается реализовать объектно-ориентированный подход на основе спектральной теории графов.

Поскольку информативное содержание изображения фиксируется только в небольшой части снимка, то обнаружение основной визуальной информации становится очень полезным для удаления ненужного фона или шума. Модели визуального внимания — хороший инструмент представления человеческого зрительного восприятия. Цель поиска будет представлена на изображении с помощью *карт заметности* (*saliency map*). Карта заметности отражает суть образа и его расположение на снимке.

Предлагается реализовать объектно-ориентированный метод на основе следующих этапов: 1) построение карты заметности изображения для выделения значимых областей; 2) распознавание выделенных областей для понимания контекста сцены.

При визуальной обработке низкого уровня применяется восходящая модель внимания для выделения наиболее заметных областей. Реализация системы визуального внимания низкого уровня основана на использовании модели карт заметности (рис. 1).

а



б

Рис. 1. Построение карты заметности:
а — исходное изображение; *б* — карта заметности

Метод карт заметности необходим на начальном этапе для формирования исходных областей, на которых сфокусировано внимание системы [1]. Сначала выделяется множество особенностей сцены для формирования *карты признаков*: интенсивность, цвет и ориентация. На втором этапе на каждой карте признаков выделяются отличительные детали сцены в соответствии с особенностями окрестностей. На третьем этапе модели визуального внимания наборы признаков объединяются для формирования карты заметности. Для обнаружения значимых областей используется алгоритм *победитель получает всё*. Этот алгоритм выбирает область с максимальным значением, рассматриваемую как наиболее заметную часть изображения, после чего фокус внимания смещается в эту область. Алгоритмом *ингибирование возвратом* (*Inhibition Of Return — IOR*) исключается двойное присутствие центра внимания в одной области [1].

На этапе распознавания выделенных областей анализируется информация, извлеченная на предыдущем этапе, и ищутся соответствия для сопоставления объектов изображения.

В разрабатываемом методе для нахождения соответствий совместно используются сопоставление графов и дескриптор SURF [2]. Таким образом, уменьшение количества ложных соответствий достигается за счет анализа взаимного расположения особенностей и сравнения их свойств на основе дескриптора SURF (рис. 2).

Рис. 2. Распознавание объекта на основе
нахождения соответствий с использованием графов

Для нахождения соответствий строится матрица расстояний гауссовой метрики и выполняется ее сингулярное разложение. Количество «выбросов» уменьшается подбором значений коэффициента наличия соответствия K. Если соответствие на основе дескриптора найдено, то $K = 1$, иначе $K = 0$. Алгоритм уменьшает количество ложных соответствий на некоторых изображениях до 90 % по сравнению с подходами, основанными только на дескрипторах [3].

2. Результаты исследований

Метод исследовался на тестовых и реальных изображениях, выполнялись поиск и распознавание объектов заданного типа. В ходе экспериментов:

1) объекты распознавались только на основе метода SURF;

2) объекты распознавались на основе предварительного выделения наиболее значимых объектов сцены с помощью визуального внимания и последующего применения метода SURF;

3) объекты распознавались на основе предварительного выделения наиболее значимых объектов сцены визуальным вниманием и последующим применением метода нахождения соответствий с использованием графов.

При совместном использовании нисходящего и восходящего подходов визуального внимания скорость поиска и распознания объектов на различных изображениях увеличивается в 2—6 раз за счет предварительного выделения информативных областей сцены.

При распознавании объектов предварительным выделением значимых объектов сцены с помощью визуального внимания и последующим применением метода SURF ложные срабатывания составляют 7—10 %. При распознавании

объектов на основе предварительного выделения наиболее значимых объектов сцены с помощью визуального внимания и последующего применения метода нахождения соответствий с использованием графов количество ложных срабатываний сократилось до 2—4 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Минобрнауки России (проект № 2.1950.2017/ПЧ).

Список литературы

1. *Itti L., Koch C., Niebur E.* A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998. 20(11). P. 1254—1259.

2. *Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L.* SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding. 2008. Vol. 110, № 3. P. 346—359.

3. *Zakharov A., Tuzhilkin A., Zhiznyakov A.* Finding correspondences in images using descriptors and graphs // Procedia Engineering. 2015. № 129. P. 391—396.

Ю. А. Ивашкин[1], М. А. Никитина[2]

[1]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2]ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, Москва, Россия
e-mail: [1]ivashkin@nextmail.ru, [2]nikitinama@yandex.ru

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Математическая модель и алгоритм структурной оптимизации материальных потоков с сетевой структурой

Структурная оптимизация материальных потоков с сетевой и разветвляющейся структурой связана с нахождением оптимального распределения сырьевых запасов в зависимости от удельных потребностей того или иного вида сырья в изготовлении гетерогенных продуктов в многоассортиментном производстве.

Математическая постановка задачи сводится к минимизации критерия отклонения от заданной структуры ассортимента [1]:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{y_i^0}{\sum\limits_{i_1=1}^{n} y_{i_1}^0}-\frac{y_i}{\sum\limits_{i_1=1}^{n} y_{i_1}}\right)^2 \to \min, \qquad (1)$$

где y_i^0, y_i — плановый и фактический выпуск i-го продукта, при ограничениях:

© Ивашкин Ю. А., Никитина М. А., 2018

— по ассортименту выпускаемой продукции *i*-го вида

$$y_i^{\min} \le y_i \le y_i^{\max}; i = \overline{1,n}; \tag{2}$$

— по объему выпуска продукции *V*

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = V; \tag{3}$$

— по запасу *j*-го вида перерабатываемого сырья

$$G_j^{\min} \le \sum_{i=1}^{n} y_i \frac{x_{ij}}{\beta_{ij}} \le G_j^{\max};\ j = \overline{1,m}; \tag{4}$$

а также при рецептурных ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1; i = \overline{1,n}, \tag{5}$$

$$y_i = \sum_{j=1}^{m} \frac{G_{ij} \cdot \beta_{ij}}{x_{ij}}; i = \overline{1,n}, \tag{6}$$

где G_j — фактический объем ресурсов сырья *j*-го вида; x_{ij} — удельное содержание *j*-го вида сырья в единице *i*-й продукции; β_{ij} — коэффициент выхода *i*-го вида продукции из соответствующего сырья.

Алгоритм оптимизации материальных потоков с сетевой структурой сводится к следующему.

При заданном плане выпуска продукции $y_i^0; i = \overline{1,n}$ и известных нормах x_{ij} удельного содержания сырья *j*-го вида в *i*-м продукте требуемый ресурс сырья G_j^0 определяется как

$$G_j^0 = \sum_{i=1}^{n} y_i^0 \frac{x_{ij}^0}{\beta_{ij}}.$$

Расчетные значения G_j^0 сравниваются с заданными лимитами $G_j^{\min}, G_j^{\max}$, и при выполнении ограничения (4) система сбалансирована по поставкам сырья и объему выпускаемой продукции.

В случае появления некоторого $G_j^0 > G_j^{\max}$ определяется максимальный суммарный долг по поставкам *k*-го вида сырья: $D_k = \max_j \left\{ D_j \right\}, j = \overline{1,m}$; затем следует процедура его минимизации путем изменения структуры поставок G_k по *i*-м технологическим схемам в зависимости от удельных потребностей x_{ik} и индивидуальных лимитов $y_i^{\min}, y_i^{\max}$ выпуска *i*-го продукта в ограничении (2).

Для этого, исходя из максимальной разницы удельных потребностей в *k*-м виде сырья для продуктов, не достигших предельного выпуска, уменьшается

поставка G_{sk} для s-го продукта с максимальной величиной x_{sk} с соответствующим увеличением поставки G_{lk} для l-го продукта с минимальной x_{lk}.

При этом на очередном шаге определяется допустимое перераспределение поставок ΔG_{lk} и ΔG_{sk}, исходя из допустимого ассортиментного сдвига Δy:

$$\Delta y = \min\left\{ y_s^0 - y_s^{\min}; y_l^{\max} - y_l^0 \right\},$$

$$\Delta G_{sk} = \Delta y \frac{x_{sk}}{\beta_{sk}}, \tag{7}$$

$$\Delta G_{lk} = \Delta y \frac{x_{lk}}{\beta_{lk}}. \tag{8}$$

Далее аналогично по формулам (7), (8) следует коррекция поставок ΔG_{lj} и ΔG_{sj} других компонент, входящих в рецептуры l-го и s-го продуктов и отмеченных в индексных массивах $Ind_l(j)$ для $j = \overline{1, m_l}$ и $Ind_s(j)$ для $j = \overline{1, m_s}$ с соблюдением ограничений (3)—(6) для соответствующих $Ind_l(j)$ — x и $Ind_s(j)$ — x видов сырья.

Если разность $\delta_k = |\Delta G_{sk}| - |\Delta G_{lk}|$, $j=1, m_{ls}$ между возможными изменениями поставок k-й рецептурной компоненты выбранной l,s-пары продуктов больше нуля, требуемое перераспределение возможно, и увеличение поставок k-го вида сырья для l-го продукта за счет его сокращения для s-го может быть полностью удовлетворено сокращением поставок для s-го продукта по k-й компоненте.

В случае отрицательной разности сокращение поставок для s-го продукта по k-й компоненте лишь частично обеспечивает увеличение выпуска l-го продукта на величину

$$\Delta y_l^{\max} = \Delta y - \frac{|\delta_k|}{x_{lk}} \beta_{lk},$$

где δ_k — максимальная по модулю отрицательная разность перераспределения поставок k-го вида сырья, и ассортиментный сдвиг становится несимметричным. Тогда величина перераспределения поставок k-го сырья для изготовления l-го продукта определяется как

$$\Delta G_{lk} = \Delta y_l^{\max} \cdot \frac{x_{lk}}{\beta_{lk}}.$$

Процедура перераспределения продолжается до исчерпывания всех возможностей перераспределения сырья по видам выпускаемой продукции и заканчивается при выполнении условия точности, когда разность значений целевой функции (1) на текущем и предыдущем шагах итерации не превышает заданной величины.

Предлагаемый алгоритм был положен в основу мультиагентной имитационной модели ***логистической системы*** многоассортиментного мясоперера-

батывающего производства, включающей логистику поставок и управления запасами, собственно производство с древовидным и сетевым распределениями материальных потоков и обслуживания заказов [2].

2. Мультиагентная модель логистической системы материальных потоков многоассортиментного мясоперерабатывающего предприятия АПК

Имитационная модель логистической системы мясоперерабатывающего предприятия АПК (рис. 1) на основе агентных технологий [2] состоит из *базисных компонентов* интеллектуальных агентов, описывающих:

— поступление различных видов с/х животных от различных поставщиков (компонент ***S/h_High***);

— материальные потоки цехов первичной и вторичной переработки с/х животных ***Work1_High*** и ***Work2*** по заданным планам выпуска многоассортиментной продукции и результатам их структурной оптимизации по критерию (1) минимального отклонения от заданной структуры ассортимента;

— процессы загрузки/выгрузки продукции в соответствующие камеры производственного холодильника — компонент ***HladKam_High***, объединяющий базисные компоненты, имитирующие работу камер охлаждения ***KamOhl***, замораживания основной ***KamZum*** и сопутствующей ***KamZumSb*** продукции.

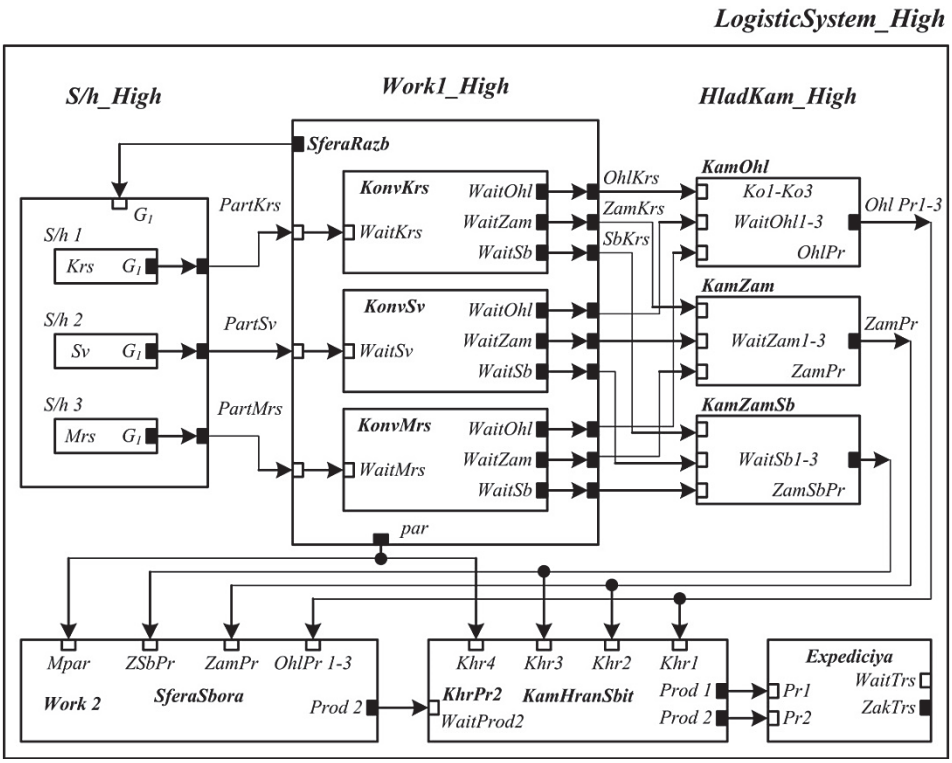


Рис. 1. Мультиагентная модель логистической системы многоассортиментного перерабатывающего производства

Компонент ***S/h_High —*** структурный компонент 1-го уровня иерархии, включает в себя базисные компоненты 2-го уровня — агентов-поставщиков *S/h*1 — *S/h*3, имитирующих поставляемые партии *Krs* — крупного рогатого скота (к. р. с.) от *S/h*1, *Sv* — свиней от поставщика *S/h*2 и *Mrs* — мелкого рогатого скота (м. р. с.) от *S/h*3, поступающие на первичную переработку на входы ***Work*1*_High***.

Структурный компонент 1-го уровня ***Work*1*_High*** имитирует агента-технолога со стратегией ассортиментной оптимизации (1)—(4) в цехе первичной переработки туш животных ***SferaRazbora***, поступающих от скотоводческих хозяйств в сенсорные накопители *WaitKrs*, *WaitSv* и *WaitMrs* и далее на соответствующие конвейеры — компоненты ***KonvKrs***, ***KonvSv*** и ***KonvMrs***. Выходные переменные компонента *Work*1*_High* описывают потоки основной продукции (туши и полутуши) на охлаждение *Ohl* и замораживание *Zam* и партии субпродуктов *Sb*, направляемые в очереди *WaitOhl*, *WaitZam* и *WaitSb* на входы соответствующих базисных компонентов ***KamOhl***, ***KamZam*** и ***KamZamSub***, а также партии парного мяса *par* для вторичной переработки в сфере ***Work*2** и в камеры хранения ***KamHranSbit*** для реализации.

Выходные потоки охлажденных и замороженных продуктов *OhlPr_1-3*, *ZamPr* и *ZamSbPr* через выходные накопители направляются в сферу вторичной переработки к агенту-технологу ***Work*2** со стратегией ассортиментно-рецептурной оптимизации многоассортиментного производства (1)—(6) ***SferaSbora*** и в камеры хранения готовой продукции *KamHranSbit*.

Базисный компонент агента ***KamHranSbit*** имитирует поступление продукции вторичной переработки *Prod*2 в очередь *WaitProd*2 в камеры хранения *KhPr*2, а также охлажденного (*Ohl*), замороженного (*Zam*) и парного (*par*) мяса и замороженных субпродуктов (*ZamS*) из холодильных камер в камеры *Khr*1—*Khr*4 для отгрузки в экспедицию и обслуживания заказов торгующих организаций через выходные накопители *Prod*1 и *Prod*2.

В то же время в базисном компоненте агента-менеджера ***Expediciya*** имитируется поступление в сенсорные накопители *Pr*1и *Pr*2 продукции первичной и вторичной переработки из *KamHranSbit* для обслуживания заказов *ZakTrs* и формируется очередь *WaitTrans* транспортных средств с учетом приоритета обслуживания, времени прихода *TarriveMash* и массы заказываемой *i*-й продукции с последующим направлением автомашин к погрузочным рампам для загрузки в соответствии с количеством и структурой заказанного ассортимента. Загруженный автотранспорт направляется в выходной накопитель выполненных заказов *ZakTrs*.

Мультиагентная модель описывается базисными компонентами на агентно-ориентированном языке моделирования *Simplex3-MDL* (*Modell Deskription Language*) [2; 3] с ***декларированием*** переменных состояния и связей агентов и ***описанием динамики*** поведения с помощью процедур принятия оптимальных решений и дискретно-событийного описания. Связь между базисными компонентами осуществляется с помощью сенсорных переменных, изменение значения которых в одних агентах непосредственно передается другим и отражается в их состоянии.

Структура соединений агентов в мультиагентной модели описывается компонентом ***внешнего, верхнего уровня*** HIGH LEVEL COMPONENT ***LogisticSystem_High***, включающим разделы SUBCOMPONENTS и COMPONENT CONNECTIONS в соответствии со схемой (см. рис. 1). Материальный поток, или функциональная связь между компонентами (листинг), записывается в виде

S/h_High.*PartKrs* --> ***Work1_High***.*WaitKrs*,

указывающем в данном случае на то, что выходная переменная *Krs* (к. р. с.) компонента 1-го уровня *S/h_High* передается на вход другого компонента 1-го уровня ***Work1_High*** и далее на сенсорный накопитель *WaitKrs* базисного компонента 2-го уровня ***KonvKrs***.

Листинг. Компонент верхнего уровня LogisticSystem_High:

```
HIGH LEVEL COMPONENT LogisticSystem_High
SUBCOMPONENTS
S/h_High,Work1_High,KamOhl,KamZam,KamZamSb,Work_2,HranKamSbit,Expediciya
COMPONENT CONNECTIONS
#потоки на конвейеры убоя и первичной переработки
S/h_High. Krs --> Work1_High.WaitKrs; S/h_High. Sv --> Work1_High.WaitSv;
S/h_High. Mks --> Work1_High.WaitMks;
Work1_High.SfRazb --> S/h_High. Gj; # требуемые объемы поставок
#потоки в камеру охлаждения
Work1_High.OhlKrs-->KamOhl.WaitOhlKrs;Work1_High.OhlSv-->KamOhl.WaitOhlSv;
Work1_High.OhlMrs --> KamOhl.WaitOhlMrs;
#потоки в камеру замораживания
Work1_High.ZamKrs-->KamZam.WaitZamKrs;Work1.ZamSv--> KamZam.WaitZamSv;
Work_High 1. ZamMrs --> KamZam.WaitZamMrs;
#потоки в камеру замораживания субпродуктов
Work1_High. ZamSbKrs --> KamZam Sb.WaitZamSbKrs;
Work1_High. ZamSbSv --> KamZam Sb.WaitZamSbSv;
Work1_High. ZamSbMrs --> KamZam.WaitZam SbMrs;
#потоки на вторичную переработку и реализацию
Work1_High.par --> (Work 2. Mpar, KamHladSbit.Khr4);
KamOhl. OhlPr1_3 --> (Work 2. OhlPr1_3, KamHranSbit.Khr1);
KamZam. ZamPr --> (Work 2. ZamPr, KamHranSbit.Khr2) ;
KamZamSb. ZamSbPr --> (Work 2. ZamSbRr , KamHranSbit.Khr3) ;
Work 2. Prod2 --> KamHranSbit. Wait Prod2;
KamHranSbit. Prod1 --> Expediciya. Pr1;
KamHranSbit. Prod2 --> Expediciya. Pr2;
Market. Zak --> Expediciya. WaitTrs;
Expediciya. ZakTrs --> Market. Torg
END OF LogisticSystem_High
```

В результате имитационного моделирования можно наблюдать и оптимизировать характеристики материальных потоков на любом участке производственной системы, в зависимости от декларированного переменного состояния агентов в базисных компонентах модели.

На рисунках 2—4 показаны некоторые результаты мультиагентного моделирования в универсальной имитационной системе Simplex3 [2; 3]. Так на рисунке 2 приведен график поступления партий продукции первичной переработки скота в остывочное отделение холодильника ***Hlad _High*** и далее, после охлаждения и замораживания, поступления в камеры хранения ***KamHranSbit***. Единица машинного времени (шаг) соответствует одной минуте.

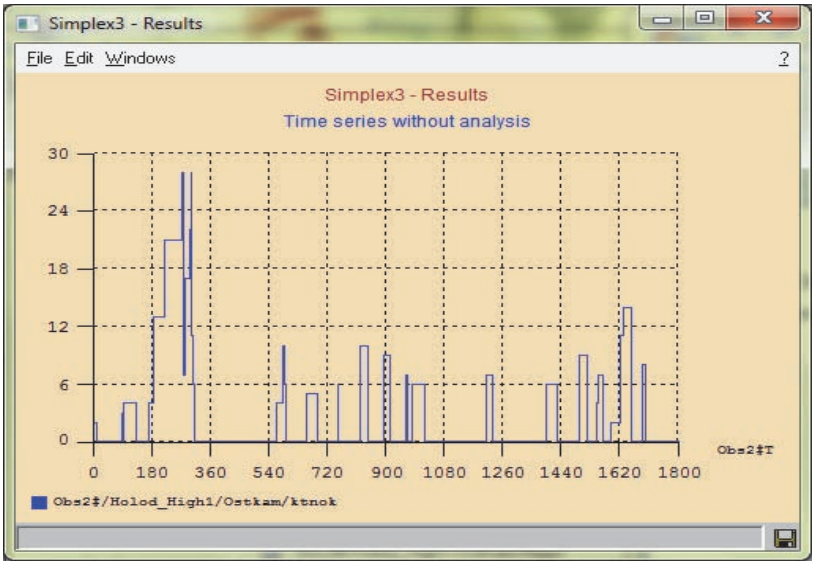


Рис. 2. График поступления партий продукции первичной переработки в камеру *KamOhl*

На рисунке 3 представлены временные графики накопления продукции первичной переработки в камерах хранения *KamHranSbit*: охлажденная продукция *Ohl* 1-3 (черная линия), замороженная *ZamPr* (серая линия), замороженные субпродукты *ZamSPr* (белая линия). Накопление автомобилей в очереди перед погрузочными рампами показано на рисунке 4.

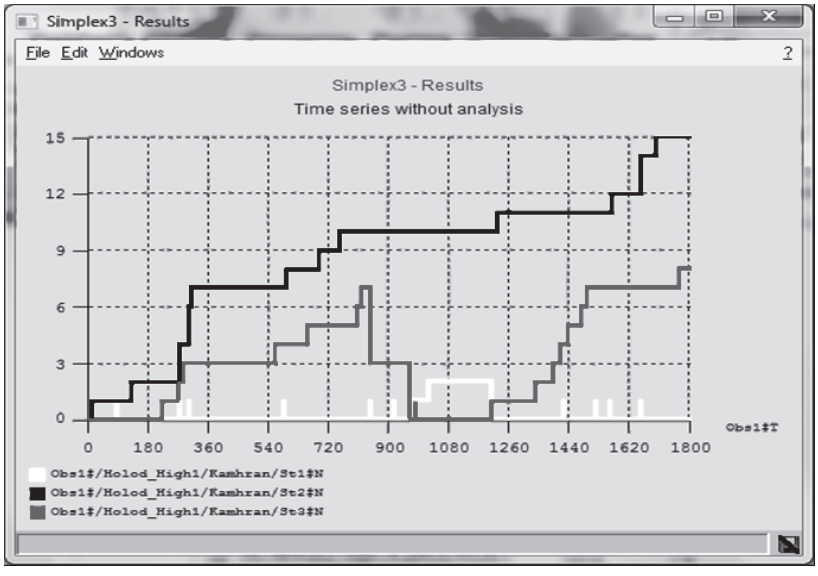


Рис. 3. Временные графики накопления трех видов продукции переработки в камерах хранения *KamHranSbit*

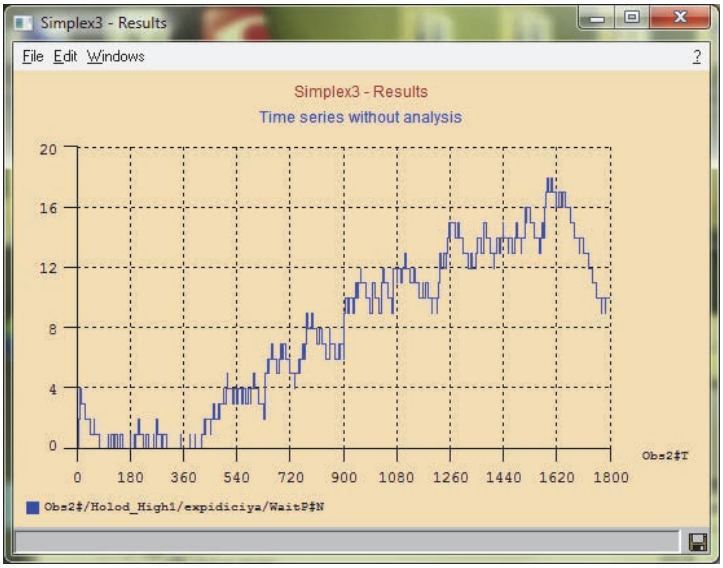


Рис. 4. График накопления автомобилей в очереди на обслуживание заказов перед погрузочными рампами и выполнения заказов

Критерий оценки работы производственного холодильника — длина очереди перед рампами *WaitM* и время ожидания машины *Tozh.*

Динамика поведения модели представляется дискретно-событийным описанием временных и условных событий изменения состояний материальных потоков поступления и переработки сырья, хранения и реализации продукции с обслуживанием автотранспорта в дискретные моменты времени.

Изложенные математические модели и алгоритмы структурной оптимизации материальных потоков могут использоваться в распределительных системах химико-технологических и пищевых производств многокомпонентной продукции. Они применялись при создании компьютерной экспертной системы структурной оптимизации меню индивидуального питания Food&Life, для перераспределения составных компонентов меню и балансирования показателей пищевой и биологической ценности рациона питания человека [4].

Список литературы

1. *Ивашкин Ю.А., Никитина М.А.* Логистика и структурная оптимизация материальных потоков в сетевых распределительных системах // Международная научно-практическая конференция «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (МНПК «ЛЭРЭП-11-2017»). Тула, 2017. С. 240—244.

2. *Ивашкин Ю.А.* Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3 : учебное пособие. М., 2016.

3. *Schmidt B.* The Art of Modelling and Simulation. SCS-Europe BVBA. Chent : Belgium, 2001.

4. *Титов Е.И., Рогов И.А., Ивашкин Ю.А. и др.* Экспертная система оптимизации состава продуктов и рационов питания : монография. М., 2009.

А. Е. Краснов[1], Е. Н. Надеждин[2], Д. Н. Никольский[3], Д. С. Репин[4]
ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика», Москва, Россия
e-mail: [1]a.krasnov@infomika.ru, [2]e.nadezhdin@informika.ru, [3]d.nikolsky@informika.ru, [4]r_d_s@informika.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБНАРУЖЕНИЯ DDOS-АТАК НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Актуальной проблемой на современном этапе социально-экономического развития России стало обеспечение безопасности информационной инфраструктуры крупных промышленных и финансовых организаций. Наиболее критичные по своим последствиям угрозы для корпоративных ресурсов этих организаций — это сетевые атаки типа «распределенный отказ в обслуживании» (*Distributed Denial of Service*, DDoS) [1]. Согласно данным статистики киберпреступлений, сетевые DDoS-атаки могут стать причиной инфраструктурных нарушений бизнес-процессов и при определенных условиях способны нанести невосполнимый ущерб активам любой организации. В этой связи изучению механизмов DDoS-атак, а также созданию эффективных методов обнаружения и защиты от них сегодня уделяется повышенное внимание [2].

Новый этап в разработке алгоритмов оперативного выявления DDoS-атак связан с автоматизированным анализом сетевого трафика на основе методов и базовых подходов интеллектуального анализа данных (ИАД) [3]. Синтезированные при этом алгоритмы защиты получают дополнительные возможности в вопросах детектирования (обнаружения и идентификации) как отдельных видов, так и комбинации различных DDoS-атак. По данным патентных исследований, технические решения обнаружителей сетевых атак строятся преимущественно с использованием элементов искусственного интеллекта: нейронных сетей, экспертных систем и систем нечеткой логики.

Ключевые вопросы при создании перспективных систем сетевой защиты: извлечение знаний из потока данных, обоснование алгоритмов гарантированного обнаружения DDoS-атаки и выбор процедур их оптимальной настройки (обучения). Классические методы и подходы теории обнаружения применительно к указанным задачам оказались несостоятельны.

Один из продуктивных подходов к решению указанной проблемы на этапе проектирования систем сетевой защиты связан с созданием многофункциональных программно-аппаратных комплексов (МПАК), которые полностью охватывают круг информационно-зависимых задач, заключающихся в эмуляции сетевых атак для различных вариантов конфигурации сетевого оборудования, в анализе зашумленного сетевого трафика, в имитации процессов детектирования и защиты от сетевых атак. Подобные МПАК в ближайшей перспективе могут стать основным испытательным полигоном для экспериментального снятия и анализа характеристик инновационных средств защиты от DDoS-атак.

© Краснов А. Е., Надеждин Е. Н., Никольский Д. Н., Репин Д. С., 2018

Цель настоящего исследования — обоснование концептуального подхода к созданию исследовательского прототипа МПАК, предназначенного для тестирования и сравнительной оценки показателей эффективности программно-аппаратных средств детектирования DDoS-атак, использующих результаты интеллектуального анализа сетевого трафика сверхбольшого (до 100 Гбит/с) объема.

На основе детального изучения предметной области и существующих методов анализа сетевого трафика и выявления DDoS-атак по патентным материалам и доступным отечественным и зарубежным публикациям выделены и сформулированы следующие системные требования к проекту МПАК.

1. Создание единой информационной среды для реализации всего набора функций МПАК в системе модельного времени.

2. Комплексный подход к задачам эмуляции DDoS-атак, формирования и анализа нормального и зашумленного сетевого трафика [2].

3. Реализация парадигмы управляемой кибернетической сети [4; 5].

4. Централизованное управление всеми подпроцессами со стороны администратора информационной базы (ИБ) с документированием промежуточных результатов.

5. Интерактивное задание варианта конфигурации сетевого оборудования и схемы скомпрометированных узлов.

6. Автоматизация процедур генерации DDoS-атак и выбор сценария ее развития с учетом топологии распределенной сети и заданных уязвимостей.

7. Дифференцированный ввод исходных данных для тестирования алгоритмов анализа сетевого трафика и детектирования атак с возможностью их адаптации в режиме самообучения.

8. Автоматическая оценка показателей качества детектирования атак.

9. Унификация оборудования и инструментальных средств в составе МПАК.

10. Использование графического интерфейса на вынесенном АРМ администратора ИБ для контроля, визуализации и управления экспериментом.

С опорой на приведенные положения обоснованы функционал и базовая архитектура МПАК. В составе ядра МПАК выделены (рис. 1) пять функциональных подсистем: модуль эмуляции DDoS-атак и сетевого трафика *1*, модуль интеллектуального анализа структуры трафика *2*, модуль детектирования сетевых атак *3*, модуль сетевой защиты *4* и модуль контроля и управления *5*. Функциональные подсистемы имеют общую базу данных (БД).

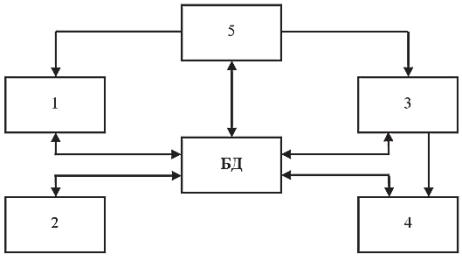


Рис. 1. Укрупненная структура многофункционального программно-аппаратного комплекса

С учетом общих принципов построения и проектирования открытых информационных систем, вытекающих из требований международных стандартов (масштабируемость, переносимость, открытость, надежность и др.), и тенденций в создании систем защиты от сетевых атак авторами разработан исследовательский прототип МПАК. В исследовательском прототипе МПАК, получившем название «экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса» (ЭОПК), реализованы основные задачи эмуляции DDoS-атак, формирования и анализа сетевого трафика, детектирования сетевых атак.

Предлагаемый ЭОПК в упрощенном варианте включает (рис. 2): конечный набор однотипных вычислительных узлов u_i, $i=\overline{1,n}$, из которых администратором ИБ конфигурируется рабочий вариант распределенной вычислительной сети (РВС); интеллектуальный маршрутизатор, который наряду с типовыми функциями осуществляет процедуру динамического агрегирования трафика с формированием агрегатов — унифицированных блоков служебных параметров пакетов; сервер обнаружения атак; распределенное программное обеспечение, поддерживающее заданный функционал ЭОПК и допускающее распараллеливание отдельных процедур [6]; автоматизированное рабочее место администратора безопасности (АРМ АБ) с дополнительными функциями по управлению экспериментом и настройке алгоритмов анализа трафика и детектирования атак.

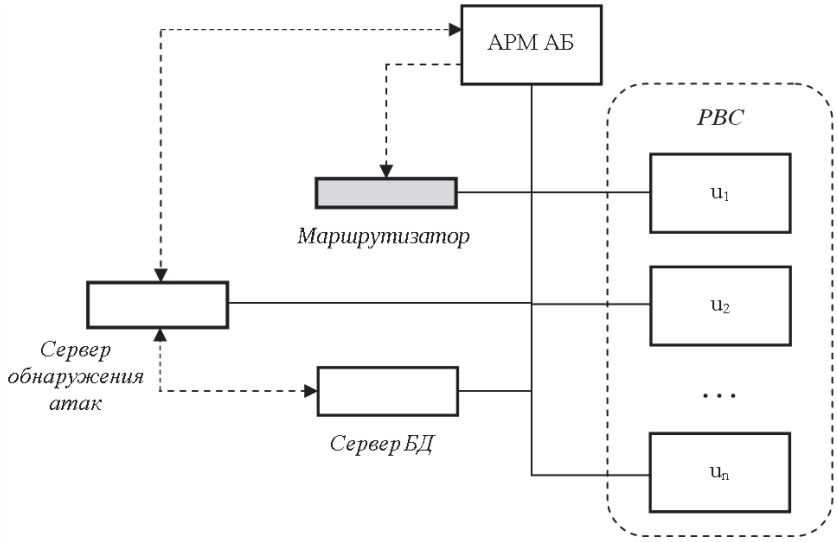


Рис. 2. Укрупненная структура экспериментального образца программно-аппаратного комплекса

При первичной настройке ЭОПК в наборе узлов выделяется группа атакующих узлов и группа узлов, эмулирующих потенциальные жертвы сетевых атак злоумышленника. Для реализации принципа централизованного управ-

ления DDoS-атаками атакующие узлы объединены в кластер. Генераторы сетевых атак представляют собой модификацию свободно распространяемой программы *Hyenae* (https://sourceforge.net/projects/hyenae/).

Отличительная особенность проекта — использование свободно распространяемого программного обеспечения. В качестве базовой управляющей системы применена операционная система *Ubuntu* 16.04.3 LTS (*Xenial Xerus*) (http://releases.ubuntu.com/16.04/). Кластер построен на базе менеджера управления ресурсами *SLURM* (https://slurm.schedmd.com/). Для управления базами данных выбрана *СУБД MySQL* (https://www.mysql.com/).

Сервер обнаружения атак предназначен для анализа сетевого трафика с использованием инструментария ИАД и детектирования DDoS-атак. Функционально алгоритм обнаружения атак включает модуль выделения первичных признаков, блок функционального преобразования (первичных признаков), блок формирования вторичных признаков, блок формирования фазового портрета и классификатор трафика. В классификаторе атак на основе авторской методики осуществляется сравнение полученного фазового портрета с эталонами, относящимися к отдельным видам атак и их комбинаций.

Опытная эксплуатация ЭОПК подтвердила обоснованность и корректность разработанных авторами технических решений [7—10]. С помощью ЭОПК были эмулированы основные виды DDoS-атак, в частности TCP-flood-, HTTP-flood- и SYN-flood-атаки.

По результатам проведенных исследований наиболее важными достоинствами созданного ЭОПК, наряду с автономностью оборудования и гибкостью практического использования, являются: генерация произвольного аномального сетевого трафика, содержащего заданную комбинацию DDoS-атак; возможность дистанционного управления всеми информационными процессами; создание условий для анализа структуры сетевого трафика и детектирования атак с использованием нестандартных алгоритмов интеллектуального анализа данных.

Для демонстрации эффективности работы комплекса приведем пример обнаружения и идентификации DDoS-атак (классификации их типов) на примере реальных состояний трафика. По протоколу *Net Flow* были получены: нормальный трафик web-Surfe; аномальный трафик http-Flood; аномальный трафик slow-Loris.

Комплекс формирует вторичные признаки трафика как по значениям характеристик нагрузочных полей заголовков пакетов данных, так и по параметрам их адресных полей. Для упрощения описания статистик в комплексе формируются две хеш-функции, на основе которых анализируется трафик.

На рисунке 3 приведен пример одномерных распределений плотностей вероятности w(Load-hash) значений нагрузочных хеш-функции Load-hash для нормального состояния трафика и двух типов атак. Из рисунка видно, что плотности вероятности значений нагрузочных хеш-функции Load-hash вполне различимы.

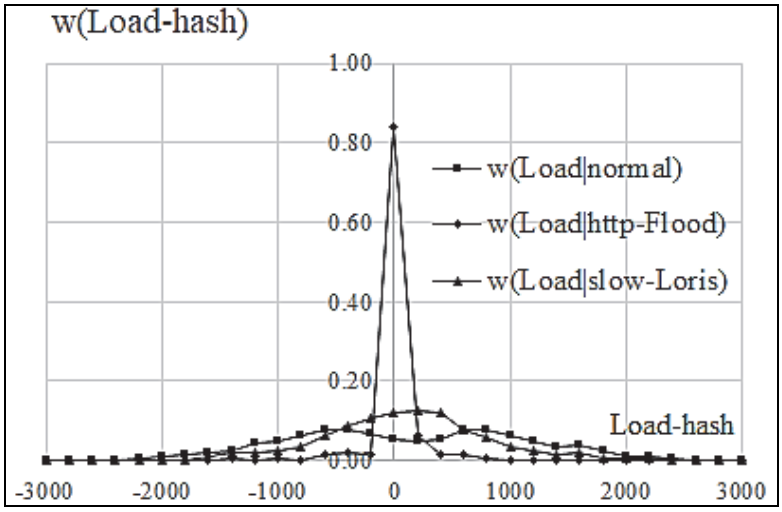


Рис. 3. Одномерные распределения плотностей вероятности значений нагрузочных хеш-функции Load-hash

На рисунке 4 приведен пример одномерных распределений плотностей вероятности w(Adr-hash) значений адресных хеш-функции Adr-hash для нормального состояния трафика и двух типов атак. Из рисунка видно, что плотности вероятности значений адресных хеш-функции Adr-hash также заметно отличаются друг от друга.

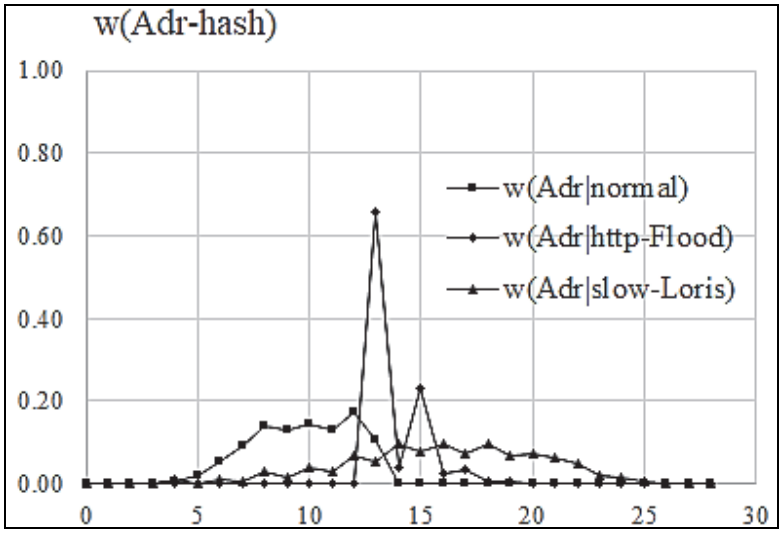


Рис. 4. Одномерные распределения плотностей вероятности значений адресных хеш-функций Adr-hash

Обнаружение атак и идентификация их типов строятся в комплексе на основе последовательного анализа Вальда и байесовской статической теории принятия решений с использованием плотностей вероятности w(Load-hash) и w(Adr-hash).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации по лоту шифр 2017-14-579-0002 по теме: «Разработка эффективных алгоритмов обнаружения сетевых атак, основанных на выявлении отклонений в трафике сверхбольших объемов, поступающем на пограничные маршрутизаторы сети передачи данных, и создание на их основе образца программного комплекса обнаружения и предотвращения угроз безопасности информации, направленных на отказ в обслуживании». Соглашение №14.578.21.0261 о предоставлении субсидии от 26.09.2017, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57817X0219.

Список литературы

1. *Уланов А.В., Котенко И.В.* Защита от DDoS-атак: механизмы предупреждения, обнаружения, отслеживания источника и противодействия // Защита информации. Инсайт. 2007. № 1(13). С. 60—67; № 2(14). С. 70—77; № 3(15). С. 62—69.

2. *Щерба Е.В., Щерба М.В.* Разработка архитектуры системы обнаружения распределенных сетевых атак типа «отказ в обслуживании» // Омский научный вестник. 2012. № 3 (113). С. 280—283.

3. *Кондратьев А.А., Талалаев А.А., Тищенко И.П. и др.* Методологическое обеспечение интеллектуальных систем защиты от сетевых атак // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=12875 (дата обращения: 17.10.2017).

4. *Калачев А.А., Краснов А.Е., Надеждин Е.Н. и др.* Модель гетерогенной сети для симуляции нейродинамических задач // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 1. С. 80—90.

5. *Краснов А.Е., Надеждин Е.Н., Никольский Д.Н. и др.* Кибернетическая сеть как структурная модель нейроподобных систем // Информатизация образования и науки. 2017. № 3 (35). С. 109—122.

6. *Краснов А.Е., Надеждин Е.Н., Никольский Д.Н.* Архитектура параллельного программного обеспечения для симуляции многомерных задач // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13, № 1. С. 49—58.

7. *Repin D., Nikol'skii D., Krasnov A., Bokov D.* Reduction of network traffic to point images for the analysis of its behavioural structure // Mathematical Modelling and Computational Physics (MMCP'2017) : Book of Abstracts of the International Conference 9 (Dubna, July 3—7, 2017). Dubna : JINR, 2017. P. 108.

8. *Краснов А.Е., Никольский Д.Н., Калачев А.А.* Способ нейроподобного снижения размерности оптических спектров. Патент РФ № 2 635 331; приоритет от 18.10.1016, БИ № 31б 10.11.2017.

9. *Краснов А.Е., Никольский Д.Н., Калачев А.А.* Снижение размерности спектральных данных нейроподобным алгоритмом. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. РФ. № 2017612195, 2017.

10. *Galayev V.S., Krasnov A.E., Nikol'skii D.N., Repin D.S.* The space of structural features for increasing the effectiveness of algorithms for detecting network attacks, based on the detection of deviations in traffic of extremely large volumes // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12, № 21. P. 10781—10790.

Б. А. Кулик[1], А. Я. Фридман[2]
[1]ИПМаш РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2]ИИММ КНЦ РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия
e-mail: [1]ba-kulik@yandex.ru, [2]fridman@iimm.ru

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ОТНОШЕНИЙ С УПОРЯДОЧЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ АТРИБУТОВ

Введение

В области исследования искусственного интеллекта в последнее время появились работы (например, [1—3]), в которых предлагается в соответствии с некоторыми принципами когнитивного подхода строить системы, где задан определенный порядок элементов (в частности, по мерам предпочтения). Основная область научных исследований и применения подобных систем — задачи категоризирования, т. е. классификация и идентификация объектов, характеристики которых задаются в *концептуальных пространствах* (КП), предложенных П. Гарденфорсом [1] как базовый аппарат для когнитивных исследований.

При этом используются эвристические меры расстояний между категориями элементов системы и между элементами внутри одной категории. Математический аппарат для такого рода систем не вполне определен, в силу чего имеется большое многообразие различающихся теоретических подходов, среди которых трудно выбрать наиболее адекватные.

Системы отношений с упорядоченными атрибутами встречаются нередко, причем в таких системах присутствуют не только количественные атрибуты. Для элементов, заданных именами, может быть (например, на основе экспертных оценок) выбрана некая мера предпочтения. Стандартными методами анализа и визуализации данных в подобных задачах считается классификация и кластеризация (например, [4; 5]), однако они также основаны на эвристиках. Еще один способ упорядочения значений атрибута — изложенный в [6] *метод квантования интервалов*, с помощью которого система произвольных интервалов на координатной оси представляется в виде линейно упорядоченного множества квантов. Рассмотрим этот метод более подробно.

Пусть имеется замкнутый интервал Ω на числовой оси и задано конечное множество $E = \{E_i\}$ замкнутых интервалов таких, что $\bigcup E_i \subseteq \Omega$. Границы интервалов заданы множествами координат начальных и конечных точек. Если все точки, обозначающие границы, рассматривать в порядке возрастания, то получим разбиение системы интервалов на ***кванты***, т. е. соседние точки и находящиеся между ними открытые интервалы. Терминологические трудности, связанные с тем, что множество квантов состоит из разнородных объектов (точек и интервалов), можно обойти, если определить точку как вырож-

© Кулик Б. А., Фридман А. Я., 2018

денный интервал с нулевой мерой. Пример процедуры квантования для четырех интервалов E_1, E_2, E_3, E_4 показан на рисунке 1. Для наглядности интервалы E_i вынесены за пределы координатной оси.

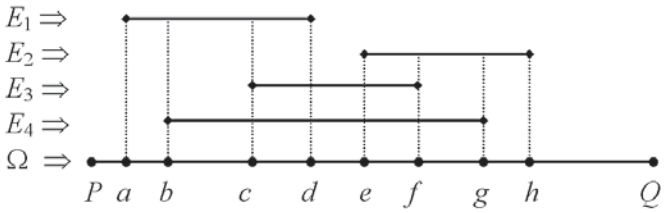


Рис. 1. Квантование системы интервалов

Здесь интервал Ω, ограниченный точками P и Q, содержит внутренние точки $a, b, ..., h$. Соответственно каждый интервал E_i отображается множеством квантов — например, замкнутый интервал E_3 состоит из точек и открытых интервалов: $E_3 = \{c, (c, d), d, (d, e), e, (e, f), f\}$. E_3 можно также представить как упорядоченное множество $\{(c, d), (d, e), (e, f)\}$ открытых непересекающихся интервалов, соответствующих квантам. Тогда каждый невырожденный интервал или непустой результат теоретико-множественных операций с открытыми интервалами трансформируется в упорядоченное множество квантов.

В дальнейшем для удобства обозначим кванты или упорядоченные значения атрибутов целыми числами (1, 2, 3, ...). Отношения с такими атрибутами можно описать с помощью алгебры кортежей (АК) [6; 7].

Алгебра кортежей — это математическая система для анализа разнообразной информации, представляемой в виде отношений. Отношения в АК отображаются с помощью четырех типов структур, называемых ***АК-объектами***. Каждый АК-объект погружен в определенное пространство ***атрибутов***. Имена АК-объектов содержат идентификатор, к нему добавляется заключенная в прямые скобки последовательность имен атрибутов, формирующих ***схему отношения***, в которой задан этот АК-объект. Например, имя $R[XYZ]$ означает, что АК-объект R задан в пространстве $X \times Y \times Z$, при этом $R[XYZ] \subseteq X \times Y \times Z$. АК-объекты выражены с помощью матрицеподобных структур, в ячейках которых содержатся не элементы, а ***компоненты***, т. е. подмножества доменов соответствующих атрибутов.

Универсальность АК обусловлена тем, что она реализует обобщенную алгебру произвольных многоместных отношений, которые оказываются интерпретацией предикатов и формул математической логики. Комбинации операций и отношений, определенных в АК, позволяют реализовать практически все необходимые действия и проверки на известных структурах данных и знаний, включая логический вывод, кванторные операции, операции соединения и композиции отношений, транзитивное замыкание и т. д.

До настоящего времени при разработке теоретических оснований АК предполагалось, что домены атрибутов АК-объектов представляют собой обычные множества с равноправными элементами. Исследования показали, что структуры АК с упорядоченными значениями атрибутов обладают новыми свойствами. Обозначим такую модификацию АК термином ***алгебра отношений с упорядоченными значениями атрибутов*** (АО/УЗА).

1. Анализ связей в структурах АО/УЗА

Рассмотрим структуру, показанную на рисунке 2, в которой домены атрибутов *X* и *Y* представлены упорядоченными значениями с именами 1, 2, 3,…, 9. Закрашенная область представляет собой АК-объект *R*[*XY*], который можно выразить *C*-системой

$$R[XY] = \begin{bmatrix} \{1,2,3,7\} & \{1,8,9\} \\ \{3,4,5,8,9\} & \{2,3,4,7,8\} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

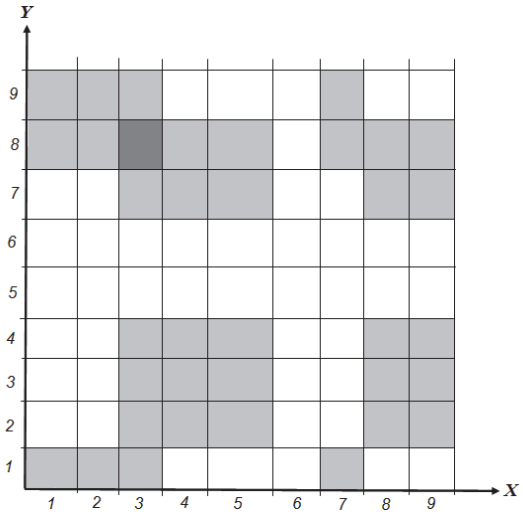


Рис. 2. Изображение АК-объекта R[XY]

Хотя значения атрибутов имеют линейный порядок, в пространстве нескольких таких атрибутов часто встречаются нарушения линейного порядка. Например, две «точки» с координатами (2, 4) и (3, 2) несравнимы по порядку. В пространстве с размерностью 2 и более порядок элементов устанавливается как доминирование. *Отношением доминирования* называется соотношение между векторами $(a_1, a_2, \ldots, a_n) \le (b_1, b_2, \ldots, b_n)$, которое справедливо тогда и только тогда, когда $a_i \le b_i$ для всех $i = 1, 2, \ldots, n$.

Чтобы исследовать частичный порядок в *n*-мерном пространстве, а также решать другие задачи в подобных структурах (например, вычисление степени

связности объектов, задачи классификации и т. д.), необходимо более удобное представление АК-объектов. В данном случае неудобство представления структуры заключается в том, что часть *C*-кортежей, из которых составлен АК-объект, могут быть разрывными, поскольку их компоненты (например, {2, 3, 4, 7, 8}) содержат разрывы. Чтобы преобразовать исходную *C*-систему в эквивалентную *C*-систему, где каждый *C*-кортеж состоит из неразрывных компонент и, следовательно, не имеет разрывов (например, *C*-кортеж [{1, 2, 3} {8, 9}]), нужно воспользоваться следующей теоремой.

Теорема 1. Пусть дан *C*-кортеж $Q[X_1, X_2, \ldots, X_n] = [C_1, C_2, \ldots, C_n]$, в котором каждая компонента C_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) разбита на k_i непересекающихся непустых множеств C_{ij} ($j = 1, 2, \ldots, k_i$). Тогда *C*-система, содержащая $k_1 \times k_2 \times \ldots \times k_n$ *C*-кортежей, записанных как элементы декартова произведения

$$\{C_{11},...,C_{1k_1}\}\times\{C_{21},...,C_{2k_2}\}\times...\times\{C_{n1},...,C_{nk_n}\},$$

эквивалентна исходному *C*-кортежу *Q*.

Чтобы преобразовать каждый разрывный *C*-кортеж заданной в (1) *C*-системы *R*[*XY*] в совокупность неразрывных *C*-кортежей, разобьем каждую разрывную компоненту на совокупность неразрывных компонент и преобразуем *C*-кортежи с разрывными компонентами в *C*-системы в соответствии с теоремой 1. В частности, для (1) после объединения *C*-систем получим:

$$R[XY] = \begin{bmatrix} \{1,2,3\} & \{1\} \\ \{1,2,3\} & \{8,9\} \\ \{7\} & \{1\} \\ \{7\} & \{8,9\} \\ \{3,4,5\} & \{2,3,4\} \\ \{3,4,5\} & \{7,8\} \\ \{8,9\} & \{2,3,4\} \\ \{8,9\} & \{7,8\} \end{bmatrix}.$$

Другой возможный способ преобразования *C*-системы в объединение неразрывных *C*-кортежей — ее представление в виде множества элементарных кортежей, но этот способ более трудоемок. В частности, для *C*-системы *R*[*XY*] при таком разложении потребуется 36 элементарных кортежей.

Рассмотрим различные варианты связей между неразрывными *C*-кортежами, которые в *n*-мерном пространстве представляют собой полностью заполненный гиперпрямоугольник (***брус***). В нашем двумерном примере (рис. 2) между парами брусов возможны три варианта связей:

1) брусы имеют непустое пересечение, к таким относится пара [{1,2,3} {8,9}] и [{3,4,5} {7,8}] — результатом их пересечения является элементарный брус [{3} {8}];

2) брусы соприкасаются гранями (в данном случае грань есть отрезок), к таким брусам в нашем примере относятся пары ([{7} {8,9}]; [{8,9} {7,8}]) и ([{1,2,3} {1}]; [{3,4,5} {2,3,4}]);

3) брусы соприкасаются в одной точке (пара [{7} {1}] и [{8,9} {2,3,4}]).

Обобщим полученные результаты для брусов произвольной размерности. Пусть брусы распределены в пространстве размерностью n. Рассмотрим варианты связей между отдельно взятой парой брусов. Для этого надо для всех атрибутов вычислить соотношения между парами компонент, относящихся к одному атрибуту. Эти пары либо имеют непустое пересечение, либо находятся на определенном расстоянии и один из элементов пары предшествует другому. Далее порядковые номера элементов рассматриваются как числа.

Определение 1. Расстояние $D(C_1, C_2)$ между неразрывными непересекающимися компонентами C_1 и C_2 одного атрибута определяется так: пусть C_1 предшествует C_2. Тогда $D(C_1, C_2) = \min(C_2) - \max(C_1) - 1$.

Например, расстояние между парой компонент {2,3} и {5,6,7} равно 1, а между парой компонент {1,2,3} и {4,5} расстояние равно 0. Очевидно, что если расстояние между компонентами хотя бы для одной пары в сравниваемых брусах больше 0, то такая пара брусов не связана. Например, пара [{3,4,5}{7,8}] и [{7}{8,9}] не связана, так как расстояние между первыми компонентами равно 1.

Определение 2. Связными называются пары брусов, у которых каждая пара компонент имеет либо непустое пересечение, либо нулевое расстояние.

Определение 3. Пусть для пары брусов в n-мерном пространстве k — число пар компонент с непустым пересечением и $n - k$ — число непересекающихся пар компонент с расстоянием 0. Тогда ***степень связности*** этих брусов есть k.

Из определения 3 ясно, что брусы со степенью связности 0 соприкасаются в одной точке, а пересечение брусов со степенью связности n непустое.

Определение 4. Назовем ***гранулами*** изолированные брусы или изолированные совокупности связанных брусов.

Произвольная совокупность гранул в структурах АО/УЗА — алгебраическая система, в которой определены операции, совпадающие с операциями над АК-объектами, а к отношениям АК (равенство и включение) добавлены отношение порядка и рассматриваемые ниже отношения связности и близости.

Рассмотрим метод построения графа связности брусов. Пусть C-система Q в n-мерном пространстве разложена в соответствии с теоремой 1 на m брусов. Построим для всех возможных пар этих брусов ***граф связности*** G со взвешенными ребрами, в котором пара брусов (B_i, B_j) соединена ребром веса k, если и только если эти брусы связны и степень их связности равна k. Ясно, что число требуемых проверок для формирования графа G равно $m(m - 1)/2$.

Если в графе G имеется хотя бы одно ребро веса k, то ***графом k-й степени связности*** $(0 \le k \le n - 1)$ называется граф G_k, в котором всем ребрам графа G веса w $(w \ge k)$ присваивается вес k, а все ребра весом менее k удаляются. Предполагается, что при отсутствии в графе G ребер веса z граф z-й степени связности (G_z) для данного АК-объекта не существует.

Определение 5. Если в АК-объекте граф G_k существует, то ***множеством гранул k-й степени связности*** ($0 \le k \le n-1$) называется множество изолированных вершин и связных компонент графа G_k.

Из определения 5 следует, что мощность множеств гранул k-й степени связности не увеличивается, а во многих случаях уменьшается с уменьшением k. Например, для АК-объекта $R[XY]$ (см. рис. 2) число гранул 1-й степени связности равно 5, а число гранул 0-й степени — 4.

Если в задаче классификации предполагается, что отдельные классы соответствуют гранулам, то мощность связных компонент определенного графа G_k соответствует числу классов. Если критерий качества классификации — заданный диапазон числа возможных классов, то нужное решение можно получить за счет варьирования степени связности гранул.

2. Вычисление расстояний между гранулами

Рассмотрим случай с разреженными структурами, когда связи всех порядков учтены, но число гранул в пространстве велико и требуется объединить в один класс несвязные близкие гранулы. Для этого можно определить расстояние между парами гранул и произвести классификацию объекта, используя известные методы классификации по расстоянию [1; 4; 5]. Рассмотрим один из методов определения расстояния для структур АО/УЗА.

В каждой грануле можно для каждого атрибута определить минимальные и максимальные элементы. Например, в структуре на рисунке 2 имеются две гранулы, выраженные C-системами

$$R_1[XY] = \begin{bmatrix} \{1,2,3\} & \{8,9\} \\ \{3,4,5\} & \{7,8\} \end{bmatrix};\ R_2[XY] = \begin{bmatrix} \{7\} & \{8,9\} \\ \{8,9\} & \{7,8\} \end{bmatrix}.$$

Сравнивая соответствующие компоненты, получим, что в $R_1[XY]$ $\min(X) = 1$, $\max(X) = 5$, $\min(Y) = 7$, $\max(Y) = 9$, а в $R_2[XY]$ $\min(X) = 7$, $\max(X) = 9$, $\min(Y) = 7$, $\max(Y) = 9$. Используя эти данные, можно для каждой гранулы построить минимальный брус, включающий эту гранулу. Назовем этот брус ***универсумом гранулы*** (УГ). Например, УГ для гранулы $R_1[XY]$ выражается C-кортежем $U(R_1)[XY] = [\{1,2,3,4,5\}\ \{7,8,9\}]$, а для гранулы $R_2[XY]$ — C-кортежем $U(R_2)[XY] = [\{7,8,9\}\ \{7,8,9\}]$.

Расстояние между такими брусами легко вычислить, но нужно учесть, что универсумы несвязных гранул могут иметь непустое пересечение, например структура, представленная на рисунке 3 и выраженная C-системой

$$Q[XY] = \begin{bmatrix} \{1,5,6\} & (1,2) \\ \{3,4\} & \{1\} \\ \{1,2,3\} & \{3,4\} \end{bmatrix}.$$

Ясно, что универсумы несвязных гранул АК-объекта $Q[XY]$ имеют непустое пересечение. Гранулы с пересекающимися или связными универсумами можно считать одной гранулой. Расстояние между несвязными гранулами можно определить после вычисления их универсумов — неразрывных брусов.

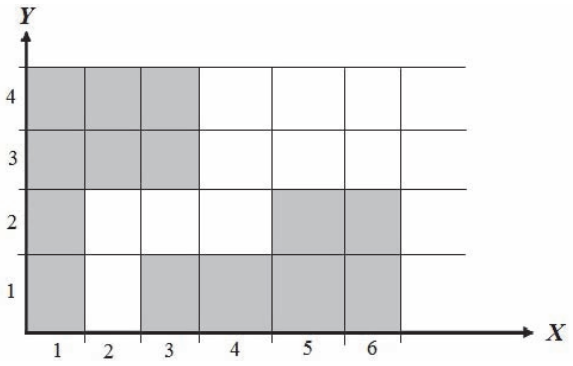


Рис. 3. Гранулы с пересекающимися универсумами

Расстояние между брусами вычисляется с использованием расстояния между соответствующими парами компонент. При этом учитываются только расстояния больше 0. Тогда в зависимости от смысла задачи возможно несколько вариантов вычисления расстояния: среднеквадратичное учитываемых расстояний, манхэттенское расстояние [8] и т. д. Для данной пространственной модели среднеквадратичное расстояние более приемлемо, поскольку соответствует диагонали бруса, расположенного между ближайшими точками сравниваемых брусов.

Рассмотрим пример. Для структуры $R[XY]$ (см. рис. 2) выберем гранулы

$$R_1[XY] = \begin{bmatrix} \{1,2,3\} & \{8,9\} \\ \{3,4,5\} & \{7,8\} \end{bmatrix};\ R_3[XY] = \begin{bmatrix} \{7\} & \{1\} \\ \{8,9\} & \{2,3,4\} \end{bmatrix}.$$

Вычислим их универсумы

$$U(R_1[XY]) = [\{1,2,3,4,5\}\ \{7,8,9\}];\ U(R_3[XY]) = [\{7,8,9\}\ \{1,2,3,4\}].$$

Расстояния между компонентами для атрибутов X и Y равны соответственно $D_X = 1$; $D_Y = 2$. Тогда среднеквадратичное расстояние $\sqrt{D_X^2 + D_Y^2} = 2{,}24$.

Если известны расстояния между гранулами, можно использовать существующие методы классификации [4; 5; 9]. Аналогичные технологии применяются при решении задач когнитивной классификации [1—3] и индукции в рамках индуктивных логик Карнапа (например, [10; 11]) с тем различием, что вместо обычных математических пространств решение ищут в так называемых концептуальных пространствах (КП) [1—3].

Основное отличие концептуальных пространств от обычных математических заключается в том, что КП часто содержат группы семантически взаимосвязанных атрибутов, причем каждая такая группа определяет одну так

называемую качественную размерность (КР) (*quality dimension* [1—3]) анализируемых объектов. Очевидный пример КР — геометрические размеры и/или объем объекта в трехмерном евклидовом пространстве, которые не зависят от других его характеристик (веса, плотности и т. п.).

Атрибуты, образующие одну КР, естественно располагать рядом в общем списке атрибутов объекта. Особенность КР состоит в том, что на ее элементах может отсутствовать порядок. Для целей классификации в подобных КП потребуется, как в существующих системах классификации, применять эвристические методы установления порядка, либо рассматривать каждый атрибут КР как независимый и пользоваться предложенными выше мерами расстояния. Кроме того, в любую проекцию некоторого АК-объекта могут входить либо все атрибуты, составляющие некоторую КР, либо ни один из них.

Заключение

Выше описаны и проанализированы возможности применения ранее разработанной авторами алгебры кортежей в задачах, где можно установить отношение порядка на доменах значений атрибутов используемых АК-объектов. Введены понятия гранул, определены степени связности между гранулами и предложены способы вычисления расстояний между несвязными гранулами. Полученные зависимости позволяют расширить область применения задач классификации.

Работа частично поддержана РФФИ (проекты №16-29-04424-офи_м, 16-29-12901-офи_м, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а).

Список литературы

1. *Gärdenfors P.* Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA : MIT Press, 2000.

2. *Lakoff G.* Women, Fire, and Dangerous Things. Chicago, IL : The University of Chicago Press, 1987.

3. *Rosch E.* Cognitive representations of semantic categories // Journal of Experimental Psychology: General. 1975. Vol. 104. P. 192—232.

4. *Everitt B.* Cluster analysis. Chichester : Wiley, 2011.

5. *Дуда Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен. М., 1976.

6. *Кулик Б.А.* Логический анализ систем на основе алгебраического подхода : дис. … д-ра физ.-мат. наук. СПб., 2008.

7. *Кулик Б.А., Зуенко А.А., Фридман А.Я.* Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

8. *Krause E.F.* Taxicab Geometry. Dover, 1987.

9. *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer-Verlag, 2009.

10. *Carnap R.* The Continuum of Inductive Methods. Chicago : Univ. of Chicago Press, 1952.

11. *Studies* in Inductive Logic and Probability / R. Carnap, R.C. Jeffrey (eds.). Vol. 1. University of California Press, 1971.

П. В. Сараев[1], Ю. Е. Полозова[2]
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
e-mail: [1]psaraev@yandex.ru, [2]julipolozova@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДУАЛЬНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ

Введение

В настоящее время нейронные сети успешно применяются при решении самых разнообразных задач. При этом входные и выходные данные в таких задачах обычно представляют собой наборы точечных значений (вещественных чисел). Однако любой процесс измерения всегда сопровождается погрешностью и не позволяет получить однозначный результат. Именно поэтому для многих задач представляется более естественным рассматривать как результат, так и исходные данные в форме диапазона значений (интервалов).

Для работы с интервальными данными применяются методы интервального анализа. Интервальная нейронная сеть (ИНС) представляет собой сочетание методов интервального анализа и нейросетевой технологии, что позволяет применять модели этого класса для решения задач с интервальными неопределенностями.

Цель работы состоит в описании подхода к анализу интервальных данных с применением дуальнопараметрической нейросетевой модели как частного случая ИНС.

1. Анализ интервальных данных

Для решения задач с интервальными неопределенностями традиционно применяются вероятностно-статистические методы [1]. Однако во многих практических ситуациях информации об исходных данных оказывается недостаточно для применения вероятностных моделей. Кроме того, в ряде задач, в том числе при прогнозировании, существенным недостатком является то, что результат представляется в виде точечной оценки, тогда как на практике часто нужна интервальная оценка, учитывающая неопределенность полученного прогноза [2]. Построение же доверительных интервалов традиционными статистическими методами может быть невозможным из-за сложности задачи [3].

Поскольку любое измерение сопровождается погрешностью, задачи анализа и обработки интервальных данных возникают, в первую очередь, в сфере метрологического контроля средств измерений [4]. При этом в каждой точке диапазона измерений прибора производится несколько испытаний, а полученные значения подлежат дальнейшему усреднению. Однако представляется целесообразным объединять полученные значения в некоторый интервал с последующей обработкой интервальных чисел.

© Сараев П. В., Полозова Ю. Е., 2018

Перспективное направление — использование интервальных экспертных оценок. При этом в качестве оценки рассматриваемого параметра эксперт указывает не число, а интервал, в котором оно содержится. Такой подход представляется более приемлемым для эксперта, поскольку интервальные числа являются более органичной формой представления оценок, данных на естественном языке, чем точные вещественные значения.

2. Дуальнопараметрическая нейронная сеть

Дуальнопараметрическая нейронная сеть (ДНС) представляет собой интервальную нейросетевую модель, которая содержит параметры двух типов: интервальные и вещественные. При этом в сети, состоящей из m скрытых слоев, интервальные параметры (веса) содержатся только в последнем скрытом слое нейронов m. Веса нейронов всех слоев от первого до m — 1 представляют собой вещественные числа.

Исходные данные представляются обучающим множеством с интервальными значениями: $\{[\tilde{x}_i],[\tilde{y}_i]\}_{i=1}^{k}$. ДНС реализует интервальнозначную функцию для интервальнозначных аргументов $[y]=f([w],[x])$, где $[w]$ — вектор интервальнозначных параметров (весов) сети. Ставится задача определения таких значений весов ДНС, при которых модельные выходы включают все интервальные выходы, имеющиеся в обучающем множестве.

Ошибка обучения модели ДНС определяется следующим функционалом качества:

$$J([w])=\sum_{i=1}^{k}Q_i([w])=\sum_{i=1}^{k}p_i b_i\,, \tag{1}$$

$$b_i=\begin{bmatrix} b_{i1} & b_{i2}\end{bmatrix}^T=\left[\underline{\tilde{y}_i}-\underline{y_i([w])} \quad \overline{y_i([w])}-\overline{\tilde{y}_i}\right]^T,$$

$$p_i=\begin{bmatrix} p_{i1} & p_{i2}\end{bmatrix},\ p_{iq}=\begin{cases} 1, & b_{iq}\ge 0 \\ -b_{iq}/N, & b_{iq}<0; \end{cases} \quad q=\overline{1,2}\,.$$

Здесь k — число примеров обучающего множества, $[w]$ — интервальный вектор весов, $Q_i([w])$ — значение ошибки обучения на i-м примере обучающего множества, p_i — вектор-строка весовых коэффициентов для отклонения границ интервала выхода сети от границ интервала указания учителя на i-м примере обучающего множества, b_i — вектор отклонений границ интервала выхода сети от указания учителя на i-м примере, $\underline{\tilde{y}_i}$ — нижняя граница интервала указания учителя на i-м примере, $\underline{y_i([w])}$ — нижняя граница интервала выхода сети на i-м примере, $\overline{y_i([w])}$ — верхняя граница интервала выхода сети на i-м примере, $\overline{\tilde{y}_i}$ — верхняя граница интервала указания учителя на i-м примере, p_{iq} — q-й элемент вектора-строки p_i, b_{iq} — q-й элемент

вектора b_i, q — номер элемента вектора, N — уровень толерантности, показывающий порядок отклонения границы интервала, который признается допустимым (например, 0,1, 0,01, 0,001).

Обучение ДНС производится в два этапа.

1. Обучение ИНС с вещественными весами с использованием интервального алгоритма обратного распространения ошибки. Полученные в результате обучения параметры используются на втором этапе для инициализации весов нейронов всех скрытых слоев, кроме последнего.

2. Обучение только последнего, интервального, слоя нейронов с использованием одного из алгоритмов для обучения ИНС (бисекции, процедуры расширения интервалов, SIVIA [5]). При этом все предыдущие скрытые слои фиксируются с весами нейронов, полученными на первом этапе алгоритма.

Обученная таким образом модель может быть использована для прогнозирования. Однако следует отметить, что возможность включения выходов обучающего множества в модельные выходы может приводить к получению выходных интервалов большой ширины, что затрудняет практическое применение полученных результатов.

3. Анализ устойчивости интервальных нейросетевых моделей

В работе [3] для нейросетевых моделей выделяются следующие четыре типа устойчивости: к случайным возмущениям входных сигналов; к флуктуациям параметров сети; к разрушению части элементов сети; к обучению новым примерам. При этом для выработки устойчивости первого типа рекомендуется использовать расширенные страницы примеров для обучения. В них сохраняется каждый пример исходной страницы, кроме него появляется ряд примеров с тем же ответом, но искаженными входными сигналами.

Этот же подход представляется целесообразным применять и для выработки устойчивости к изменению исходных данных при интервальном нейросетевом моделировании. Однако, рассматривая задачу прогнозирования интервального временного ряда, следует отметить, что входные сигналы одного примера обучающего множества являются выходными сигналами другого примера. Таким образом, целесообразно рассматривать искажение данных исходного временного ряда в целом, в том числе добавляя примеры, имеющие одинаковые входные сигналы и различные выходные.

Рассмотрим выход нейронной сети (НС) и ее интервального аналога при наличии в обучающем множестве двух противоречащих примеров с одинаковыми входными сигналами и разными выходными. При этом выход второго примера на 10 % превышает выход первого. В таблице 1 приведены результаты обучения.

Можно заметить, что в случае с НС выход для каждого из примеров представляет собой некоторое усредненное значение выходов обучающего множества. Результат обучения ДНС представляет собой интервал, содержащий выходные значения каждого из примеров.

Таблица 1

Результаты обучения

Объект	Пример	Входные сигналы			Выходной сигнал
Обучающее множество	1	0,121	0,020	0,362	0,834
	2				0,918
НС	1	0,121	0,020	0,362	0,869
	2				0,869
ДНС	1	0,121	0,020	0,362	[0,809; 0,918]
	2				[0,809; 0,918]

Следует отметить, что рассмотренные искажения исходных данных целесообразно рассматривать в качестве интервальной неопределенности. В этом случае добавление искаженного примера равносильно объединению двух примеров в один с расширением входных и выходных интервальных сигналов уже имеющегося в обучающем множестве примера. Таким образом, достигается выработка устойчивости интервальной нейросетевой модели к изменению исходных данных при неизменном объеме обучающего множества.

4. Прогнозирование временных рядов

Рассмотрим сравнение моделей НС и ДНС при решении задачи прогнозирования временных рядов. Для эксперимента использованы данные [7]. Временной ряд представляет собой измерения температуры воздуха в помещении. Для эксперимента выбран фрагмент исходных данных, содержащий 90 значений, на 10 следующих значений строится прогноз. Для прогнозирования использована двухслойная модель НС и ДНС, содержащая пять входных нейронов и два нейрона скрытого слоя.

Исходные данные и результат прогнозирования приведены на рисунках 1 и 2 соответственно. В таблице 2 представлены величины ошибок обучения и прогнозирования для моделей НС и ДНС. Ошибка прогнозирования рассчитана как среднее относительное отклонение границ прогнозного значения от фактического.

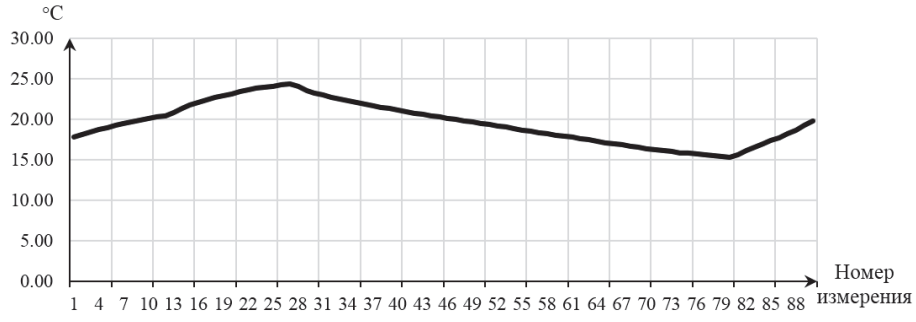


Рис. 1. Исходные данные

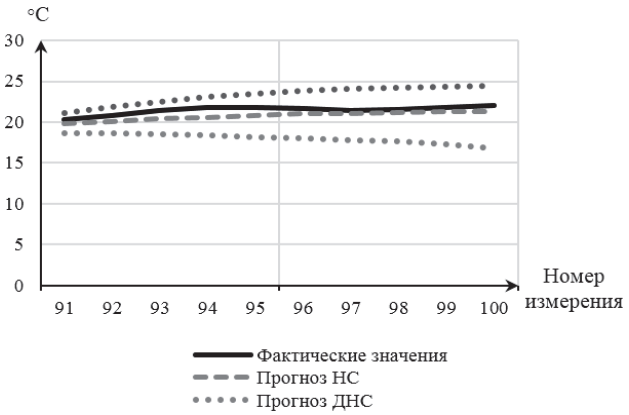


Рис. 2. Результат прогнозирования

Таблица 2

Результат прогнозирования

Показатель	НС	ДНС
Ошибка обучения	0,9	23,8
Ошибка прогнозирования, %	3	12

Следует отметить, что ошибки обучения для рассматриваемых моделей вычисляются с использованием различных функционалов качества. Для модели НС — квадратичный функционал, для модели ДНС — модифицированный функционал качества (1). Этим различием объясняется полученная разница величин ошибок обучения.

По результатам прогнозирования можно отметить большую ширину прогнозных интервалов, полученных с использованием модели ДНС, о чем свидетельствует величина ошибки прогнозирования. Однако можно заметить, что все фактические значения включены в прогнозные интервалы, что гарантирует наличие точного решения. Кроме того, описанное преимущество интервального прогноза позволяет учитывать неопределенность полученного результата — немаловажный фактор для практики прогнозирования.

Заключение

В работе рассмотрен подход к анализу интервальных данных, основанный на дуальнопараметрических нейронных сетях. Описаны особенности параметрической идентификации подкласса моделей. Рассмотрен возможный подход к анализу устойчивости при моделировании и прогнозировании на основе моделей ДНС. На примере задачи прогнозирования временных рядов проведено сравнение эффективности моделей НС и ДНС, описаны преимущества и недостатки предлагаемого подхода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 17-47-480305-р_а.

Список литературы

1. *Орлов А. И.* Основные идеи статистики интервальных данных // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94. С. 55—70.

2. *Подружко А. А., Подружко А. С., Кирицев П. Н.* Интервальные методы решения задач калибровки и классификации // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2009. Т. 44. С. 173—186.

3. *Померанцев А. Л., Родионова О. Е.* Задачи обработки больших массивов химических данных при интервальной нестатистической ошибке // Всероссийское совещание по интервальному анализу и его приложениям (Интервал-06). Петергоф, 2006. С. 114—115.

4. *Вощинин А. П.* Интервальный анализ данных: развитие и перспективы // Заводская лаборатория. 2002. Т. 68, № 1. С. 118—126.

5. *Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э.* Прикладной интервальный анализ. М. ; Ижевск : Изд-во «РХД», 2007.

6. *Горбань А. Н.* Обучение нейронных сетей. М. : ПараГраф, 1990.

7. *SML2010* Data Set. URL: https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/SML2010 (дата обращения: 17.11.2017).

М. В. Тарачков[1], А. Е. Ширкин[2], И. К. Перминов[3]

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

e-mail: [1]mishklgpmi@mail.ru, [2]shirkin39@mail.ru, [3]ilyakonstantinovich@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМ РОБОТОМ АР-601

Введение

Уровень развития современной промышленности и систем управления делает возможным внедрение робототехники в повседневную жизнь уже в ближайшем десятилетии. Речь идет не о роботах-пылесосах, а о полноценных антропоморфных робототехнических комплексах. Для успешного внедрения таких комплексов необходимо научить их взаимодействовать с окружающими предметами и людьми. Поэтому одна из наиболее важных задач робототехники сейчас — это задача распознавания объектов и их захвата.

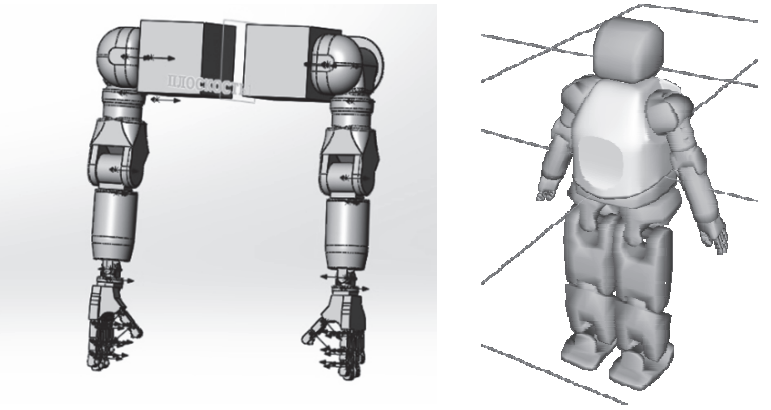
В статье рассмотрен способ построения системы управления захватом для антропоморфного робота АР-601 с использованием фреймворка *Robotic Operating System* (*ROS*).

1. Создание компьютерной модели робота

Для планирования движений робота необходимо построить его компьютерную модель. Она состоит из моделей звеньев и шарниров, взаимное расположение и характеристики которых описываются в формате URDF. Для каждого звена также указывается соответствующая ему трехмерная модель.

© Тарачков М. В., Ширкин А. Е., Перминов И. К., 2018

Поскольку производителем не были предоставлены трехмерные модели всех звеньев робота, они были построены в программе *Solidworks* на основе измерений частей реального робота. Компьютерная модель рук робота представлена на рисунке 1, *а*. Точность построения трехмерных моделей может быть невысокой, так как они используются для визуализации движений робота, и это вопрос эстетики. Второе назначение трехмерных моделей — расчет соприкосновений между частями робота, а также между частями робота и окружающими объектами. Для этой задачи модели должны быть максимально простыми, от чего зависит сложность расчетов. URDF позволяет для каждого звена указывать трехмерную модель для визуализации звена и для определения соприкосновений [1].



а *б*

Рис. 1. Трехмерные модели роботов:
а — модель манипуляторов робота в САПР Solidworks;
б — визуализация компьютерной модели робота АР-601 в среде RViz

Взаимное расположение звеньев робота, расстояния между осями вращения, минимальные и максимальные углы поворота шарниров были взяты из чертежей робота, предоставленных производителем.

Трехмерные модели звеньев были построены по отдельности и объединены в сборку. Из сборки в программе Solidworks можно получить URDF-описание робота при помощи плагина «Solidworks to URDF exporter». Он генерирует пакет для ROS. В ROS компьютерная модель робота визуализируется инструментом RViz. Результат показан на рисунке 1, *б*.

2. Взаимодействие робота и компьютерной модели

Робот должен повторять действия, запланированные на компьютерной модели. Поэтому необходимо передавать на контроллер робота управляющие сигналы. Компьютерная модель должна иметь актуальную информацию о состоянии робота: положение всех шарниров, напряжение и токи моторов, данные с датчиков давления на концах пальцев. Схема взаимодействия компьютерной модели и робота представлена на рисунке 2.

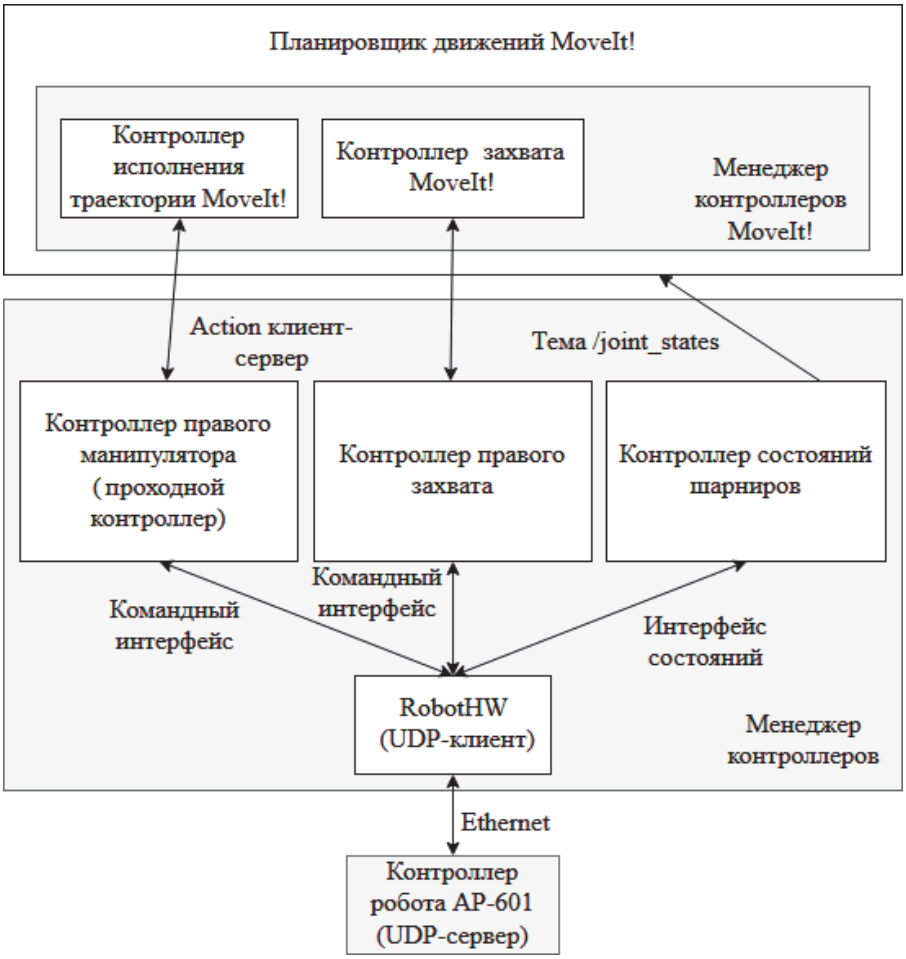


Рис. 2. Структура взаимодействия робота и компьютерной модели

В фреймворке ROS для осуществления описанного выше взаимодействия используется пакет «ROS control». Данный пакет состоит из нескольких программ, главная из которых — RobotHW. Она наиболее низкоуровневая из всех, так как осуществляет взаимодействие с контроллером робота через интерфейс UDP согласно протоколу обмена данными. В RobotHW необходимо реализовать следующие функции: передача угла поворота шарнира, установка минимального и максимального угла шарнира, центровка шарнира; прием данных о текущем угле поворота шарнира, текущем значении тока и напряжения каждого мотора, показатели состояния датчиков давления на кончиках пальцев.

Также в задачи RobotHW входит запуск менеджера контроллеров, который управляет запуском/остановом контроллеров и обменом данными между RobotHW и контроллерами с использованием интерфейсов.

Контроллер — это программа, управляющая моторами, приемом координирующих сигналов и передачей данных о состоянии робота другим программам в ROS при помощи клиент-серверного механизма *action*. Его использование позволяет передавать управляющий сигнал и контролировать процесс исполнения команды, обеспечивая обратную связь. Исполнение команды можно экстренно отменить. Также возможно взаимодействие при помощи механизма *тем* (англ. *topics*) [1].

Контроллеры с ПИД-регулятором могут управлять мотором (группой моторов) по позиции (joint position controller), скорости (joint velocity controller) и моменту (joint effort controller). В проходные контроллеры (joint forward controller), которые передают данные от управляющей программы в RobotHW без изменений, обычно встраивают функцию, интерполирующую полученную от управляющей программы последовательность углов положений шарниров, что сглаживает движения робота. Для передачи данных о состоянии робота используются контроллер состояний шарниров (joint state controller) и контроллер состояний тактильных датчиков (tactile sensor controller).

Интерфейсы поддерживают обмен данных между контроллерами и RobotHW. В ROS существуют следующие типы потокобезопасных интерфейсов, которые различаются типом и количеством передаваемых параметров: командный интерфейс шарниров; интерфейс состояний шарниров; силомоментный интерфейс; инерционно-измерительный интерфейс.

3. Подготовка данных для распознавания

В интегрированной среде разработки Unity3D была реализована модель, имитирующая работу стереозрения видеокамер. Среда Unity3D создана для написания компьютерных игр, поэтому в ней есть необходимый функционал для реализации виртуальной сцены и съемки ее виртуальными камерами. Камера в Unity3D является перспективной проекцией. С помощью такой же математической модели принято описывать в компьютерном зрении реальные камеры [2]. Среда Unity позволяет переопределять матрицу проекции, захватывать изображение.

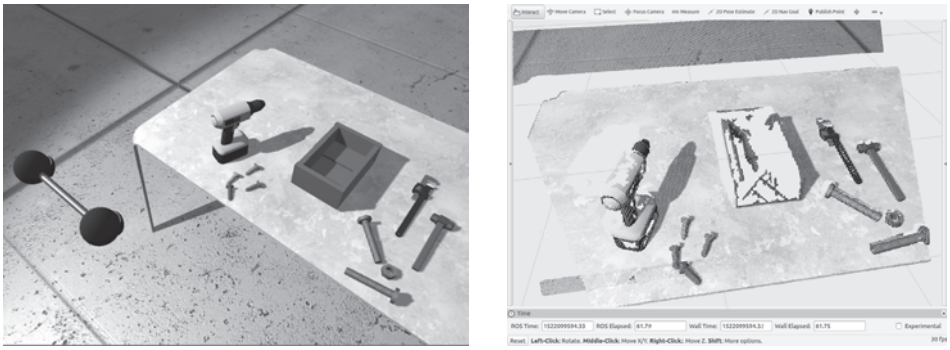
Программа, имитирующая работу видеокамер, принимает настройки стереосистемы (расстояние между камерами, направление оптических осей) и внутренние параметры камер, а также начальное положение системы зрения на сцене. Изображения транслируются через веб-службы. Перед отправкой стереопара обрабатывается и добавляются эффекты цифрового шума и радиальных искажений.

Для каждой камеры выделен отдельный порт, благодаря чему можно обращаться к имитационной модели так же, как к реальному оборудованию по сети. Данные по веб-адресам принимает другая программа и отправляет стереопары с привязкой ко времени в виде сообщений в ROS.

Для вычисления раскрашенного облака точек реализован другой пакет ROS, который принимает готовые сообщения с изображениями. С помощью

инструментов библиотеки OpenCV вычисляется карта глубины, по которой путем триангуляции вычисляются координаты пространства. Далее в виде сообщений раскрашенное облако точек передается системе распознавания.

На рисунке 3 представлен пример виртуальной сцены и получаемых в результате данных.



а *б*

Рис. 3. Подготовка данных для распознавания:
а — модель стереозрения видеокамер; *б* — облако точек в визуализаторе RViz

4. Распознавание объектов

Для распознавания объектов по цветному облаку точек существует библиотека алгоритмов PCL. В ходе работ над системой распознавания были опробованы некоторые из них. Готовые алгоритмы оказались неэффективными: либо они не справлялись со своей задачей, либо работали слишком долго. Поэтому было решено написать собственный алгоритм.

Для разработанного алгоритма необходимо особым образом подготовить модели объектов, которые он будет искать. Модель должна быть трехмерным графическим примитивом. Если объект сложной формы, то его нужно разбить на примитивы. В данной статье рассматриваются только простые объекты. На модели объекта выделяются ключевые точки (рис. 4). Нужно учитывать, что объект будет виден только с одной стороны. Также выделяется одна особая ключевая точка — геометрический центр модели. Ключевые точки должны описывать объект максимально хорошо, при этом желательно, чтобы их количество было как можно меньше, так как это отразится на скорости работы алгоритма.

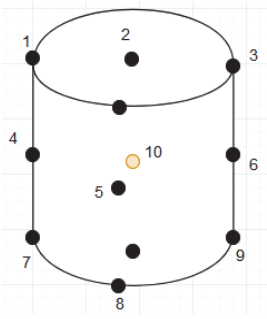


Рис. 4. Пример расположения ключевых точек на цилиндре

Алгоритм распознавания состоит из нескольких частей. Поскольку искомый объект располагается на столе или полке, то в первую очередь необходимо удалить из дальнейшего поиска точки, которые точно не принадлежат

объекту. Для этого ищется геометрический центр всего облака точек. Через найденный центр проводится плоскость. Она может наклоняться вдоль осей X, Y от 0 до 180° и смещаться по оси Z не более чем на 30 см в отрицательном направлении. Такое значение установлено из предположения, что большинство точек в облаке будут принадлежать поверхности, на которой располагается объект, следовательно, геометрический центр будет смещен максимально близко к поверхности. Производится перебор углов и смещения, ищутся те значения, при которых 10 % точек облака будут находиться ниже проведенной плоскости.

Далее определяется количество точек в облаке на удалении от плоскости на 0,5, 1, 1,5 см и т. д. Ищется максимальное значение, на таком удалении от проведенной плоскости располагается поверхность. Все точки, располагающиеся ниже этой границы, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Следующий этап — кластеризация облака точек по двум параметрам: цвет и удаленность точек. Из произвольной точки облака запускается алгоритм поиска в ширину. Переход к новой точке осуществляется в случае, если расстояние между точками меньше d_0 и различия в значении цвета меньше r_0, g_0, b_0 соответственно.

Все точки, до которых удалось дойти из исходной, помечаются одинаковой меткой. Если перейти в новую точку нельзя, но еще остались необработанные точки, алгоритм поиска в ширину запускается из них. Эти точки также помечаются меткой, но уже другой. В результате кластеризации облако разбивается на фрагменты, каждая точка такого фрагмента помечена соответствующей фрагменту меткой.

Можно ввести еще один фильтр — для поиска объекта в меньшем количестве кластеров. Например, если искомый объект — коробка, то количество точек, в котором его стоит искать, будет больше, нежели если искомый объект — винт.

В кластерах находится геометрический центр, в который помещается подготовленная модель. Осуществляется вращение модели вдоль каждой из трех осей с шагом 0,4 рад и рассчитывается расстояние между точками модели и точками кластера. Оптимальными считаются те углы, при которых расстояние между точками окажется минимальным. Таким образом, устанавливается положение и ориентация объекта в пространстве.

Полученные положение и ориентация отсчитываются относительно системы координат левой камеры, поэтому для использования их в системе захвата необходимо произвести преобразование в систему координат робота. В компьютерную модель робота добавляется трехмерная модель распознанного объекта согласно полученным положению и ориентации.

5. Захват распознанных объектов

Для осуществления захвата объекта необходимо подобрать оптимальную позицию захватывающего устройства. В данной работе оптимальной будет считаться такая позиция, которая позволяет осуществить захват.

Вводится понятие глубины захвата, равное расстоянию от центра объекта до поверхности ладони. Производится вращение модели рабочего органа ро-

бота вокруг модели распознанного объекта вдоль трех осей с заданным шагом на расстоянии глубины захвата. На каждом шаге проверяется отсутствие пересечений рабочего органа робота и объектов на сцене, а также решается задача обратной кинематики для манипулятора с семью степенями свободы для того, чтобы определить, можно ли переместить рабочий орган робота в такое положение. Если оба условия выполняются, то захват считается спланированным. Управляющая команда передается на робота, и он повторяет действия, симулированные в модели. Когда рабочий орган робота принял требуемое положение, подается команда на сжатие пальцев. Сжатие происходит до тех пор, пока не сработают тактильные датчики на кончиках пальцев. Захват считается выполненным.

При планировании захвата учитывается вектор, вдоль которого рабочий орган робота подводится к распознанному объекту, и минимальное расстояние, с которого нужно начинать двигаться вдоль этого вектора [3].

Заключение

Разработаны элементы системы управления антропоморфным роботом АР-601. В целом система показала себя хорошо, стабильно распознавались объекты и производился их захват. Систему необходимо доработать, чтобы ускорить процесс распознавания и захвата объектов.

Список литературы

1. *Lentin J.* Mastering ROS For Robotics Programming. Packt Publishing Ltd., 2015.

2. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение. М. : БИНОМ ; Лаборатория знаний, 2006. С. 506—509.

3. *Mahtani A., Sanchez L., Fernandez E., Martinez A.* Effective Robotics Programming with ROS. Packt Publishing, 2016.

А.Я. Фридман[1], Б.А. Кулик[2]
[1]ИИММ КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская обл., Россия
[2]ИПМаш РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: [1]fridman@iimm.ru, [2]ba-kulik@yandex.ru

КОГНИТИВНАЯ КАТЕГОРИЗАЦИЯ В СИТУАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ

Введение

В системах ситуационного управления, предложенных Д. А. Поспеловым [1], требуется решать ряд задач, основанных на результатах классификации некоторых структур или процессов. Во-первых, это собственно задача классификации ситуаций, где необходимо определить, к какому классу относится текущая ситуация, выявить пожелания ЛПР по дальнейшему управлению подчиненным ему объектом и предложить управление, реализующее эти по-

© Фридман А. Я., Кулик Б. А., 2018

желания с учетом состояния системы и имеющихся ограничений. Во-вторых, это задача обобщения описаний ситуации на основе их классификации с использованием множества прагматически важных признаков [1]. Наконец, в-третьих, это задача координации управлений при наличии в системе нескольких ЛПР равных или различных рангов. Во всех случаях при выработке рекомендаций желательно учитывать предшествующий опыт управления, т. е. уметь анализировать архивы ситуаций и выявлять среди них аналоги текущей ситуации. Ввиду сложности управляемой системы не приходится рассчитывать на наличие полных аналогов, что приводит к необходимости привлечения интеллектуальных методов принятия решений. В частности, перспективным представляется переход от анализа классических категорий структур и процессов, основанных на отношениях эквивалентности, к методам когнитивной (семантической) категоризации [2], которые учитывают прототипические эффекты и степень типичности представителей внутри одной категории [3], а также используют семантические меры близости категорий, моделируемых в так называемых концептуальных пространствах [4]. Поскольку требуется сопоставлять графовые структуры, обычно применяются методы поиска заданного шаблона в графах (например, [5]). В работе рассматривается решение перечисленных проблем в рамках ранее разработанной системы ситуационного моделирования (ССМ) динамических иерархических пространственных комплексов (ДИПК) [6]. Полученные результаты предлагается использовать как основу алгоритмического обеспечения современной системы распределенных интеллектуальных ситуационных центров для их эффективного развития и взаимодействия. ССМ могут создаваться на различных организационных уровнях (федеральном, региональном и корпоративном) с целью управления ДИПК соответствующих территориальных масштабов.

1. Особенности концептуальных пространств

Концептуальные пространства (например, [7]) представляют собой геометрические структуры, основанные на размерностях качества, которые определяют степень схожести или различия объектов. Суждения о сходстве и различии обычно порождают упорядочивающее отношение на множестве объектов: например, суждения о высоте звука порождают естественный порядок от *низкого* до *высокого*. К размерностям качества относятся цвет, высота звука, температура, вес и три обычных пространственных измерения. Некоторые размерности тесно связаны с тем, что анализируется нашими сенсорными рецепторами, но есть и абстрактные качественные измерения.

Понятие размерности следует понимать буквально. Предполагается, что каждая из качественных размерностей наделена определенными топологическими или метрическими структурами. Например, *время* представляет собой одномерную структуру, которая считается изоморфной прямой вещественных чисел. Аналогично *вес* — одномерная с нулевой точкой, изоморфная полупрямая неотрицательных чисел. Некоторые качественные размерности дискретны, т. е. они просто делят объекты на классы, например пол какого-либо индивидуума.

Для преобразования суждений о сходстве в концептуальное пространство обычно используется многомерное шкалирование (например, [8]).

В концептуальных пространствах объекты характеризуются набором атрибутов или качеств. Каждое качество принимает значения в определенном домене, который может быть непрерывными или дискретными. Например, качество тона (или частоты) для музыкальных тонов принимает значения в области положительных действительных чисел. Объекты идентифицируются точками в концептуальном пространстве, представляющем собой декартово произведение доменов, а понятия есть области в этом пространстве.

Отношения сходства — фундаментальные для концептуальных пространств. Они фиксируют информацию из суждений о сходстве. Чтобы моделировать некоторые отношения сходства, концептуальное пространство наделяют мерой расстояния.

Определение 1. Мера расстояния d — функция из C x C в T, где C — концептуальное пространство, а T — вполне упорядоченное множество.

Измерения расстояний приводят к естественной модели сходства: чем меньше расстояние между двумя объектами в концептуальном пространстве, тем они более похожи. Связь между расстоянием и сходством не обязательно линейна: например, сходство может экспоненциально убывать с расстоянием.

В частном случае, когда мера расстояния — метрика, *отношение промежуточности* между точками пространства определяется так: b находится между a и c тогда и только тогда, когда $d(a; b) + d(b; c) = d(a; c)$.

Обычно полезны свойства связности, звездообразности и выпуклости областей в концептуальных пространствах.

Определение 2. Подмножество C концептуального пространства:

а) *связно*, если оно не является несвязным объединением двух непустых замкнутых множеств;

б) *звездообразно* относительно точки p (называемой *точкой ядра*), если для всех точек x из C все точки между x и p также принадлежат C;

в) *выпукло*, если для всех точек x и y из C все точки между x и y также находятся в C.

Определение 3. *Ядро* звездообразной области C есть множество всех возможных точек ядра (см. (б) определения 2), обозначаемое *kernel* (C).

2. Категории и прототипы

Категоризация приводит к разбиению концептуального пространства на (значимые) субрегионы. Геометрическая природа концептуальных пространств, связанных с представлениями о прототипах и способностью манипулировать размерностями независимо друг от друга, обеспечивает гибкое и практичное представление контекстно-зависимой категоризации.

В каждой категории некоторые члены считаются более представительными, чем другие [9]. Классификация объектов осуществляется путем определения их сходства с прототипом. Экземпляры выше некоторого порога сходства с прототипом принимаются как члены категории, все остальные экземпляры не являются членами.

Основная идея заключается в том, что мозаику (диаграмму) Вороного [10], построенную вокруг прототипов по правилу ближайшего соседа, можно использовать для определения порога сходства, который формирует границы категорий. Другими словами, прототипы и базовое отношение сходства с ними применимы для разбиения концептуального пространства на категории, причем при использовании эвклидовой метрики категории обладают свойством выпуклости.

3. Поиск шаблона в графах

Сопоставление графов (Graph Matching) — это классический оптимизационный подход, который изучается в течение ряда лет и рассматривает два независимых графа. Первый из них называется *графом данных* (а также входным графом) и содержит всю информацию с датчиков, собранную в определенной предметной области. Второй — *граф шаблона* (также именуется гипотезой, или шаблоном, или образцом) — описывает некоторую сигнатуру информации, которая интересует аналитика.

Обычно шаблонный граф намного меньше, чем граф данных, и требуется исследовать синтаксическую и семантическую встречаемость шаблона в графе данных. Графовые представления широко используются для обработки структурированной информации в разных областях, таких как сети, психосоциология, интерпретация изображений, распознавание образов и т. д. Одна из важных проблем, которые необходимо решать при использовании таких представлений, — это сопоставление графов. Для достижения хорошего соответствия между двумя графами наиболее часто используется концепция изоморфизма графов, и многие публикации посвящены поиску наилучшего соответствия между двумя графами или подграфами. Однако в ряде случаев требование изоморфизма слишком сильное, и тогда применяют методы неточного сопоставления графов [11], с помощью которого два графа можно сравнить, даже если они семантически различны. В еще более слабом виде соответствия — гомеоморфизме — исключается условие, что вершины первого графа должны отображаться в разные узлы другого. Все упомянутые выше задачи NP-полны.

В неточном сопоставлении графов [12] некоторые строгие условия, налагаемые точным сопоставлением, ослаблены для учета возмущений в системе. В этом случае два узла, которые не удовлетворяют условию сохранения края, могут быть сопоставлены, но есть стоимость, назначенная этому отображению. Оптимальные алгоритмы неточного сопоставления всегда находят точное решение, если оно существует. Приближенный, или субоптимальный, алгоритм сопоставления обнаруживает локальные минимумы, которые могут быть далеки от глобальных минимумов.

В задачах оценки ситуации (см. обзор [13]) состояние объектов и отношения между ними также удобно представлять в виде графов. Покажем это на примере ССМ [6].

4. Основы ситуационного моделирования

В результате решения задачи классификации в ССМ становится ясно, к какому классу относится текущая ситуация. Эта информация сообщается пользователю — лицу, принимающему решение (ЛПР), ответственному за некоторый объект (объект принятия решений — ОПР), а ЛПР должен решить, в какой класс ситуаций он считает необходимым перевести объект. Если требуется изменить класс ситуаций, то пользователю дается рекомендация отобрать один или несколько вариантов структуры моделируемого объекта, относящихся к наиболее предпочтительным в нужном классе.

Классификация в оперативном режиме работы (непосредственно в ходе моделирования) ведется по критерию качества вида:

$$\Phi :: = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \right)^2 \right)^{1/2} :: = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \delta a_i^{\,2} \right)^{1/2}, \qquad (1)$$

где a_i — ресурсы (любые материальные или информационные сигналы) из списка выходов ОПР; m — длина этого списка, определяющая количество возможных классов ситуаций; a_{i0} и $\Delta a_i > 0$ — настроечные параметры, отражающие требования ЛПР к номинальному значению a_i и допустимому отклонению Δa_i от этого значения; $\delta a_i :: = \dfrac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i}$ — относительное отклонение фактического значения ресурса a_i от его номинального значения a_{i0}.

Если считать a_i скалярными критериями качества работы элемента модели, номинальные значения которых определяются величинами a_{i0}, то выражение (1) есть обобщенный критерий с коэффициентами важности, обратно пропорциональными допустимым отклонениям скалярных критериев, что не лишено здравого смысла: чем важнее критерий, тем меньше его допустимое изменение и, соответственно, выше его вес в сумме (1).

По формуле (1) можно однозначно сопоставить текущие альтернативные структуры ОПР по степени их соответствия пожеланиям ЛПР, а также классифицировать их по признаку доминирования одного из скалярных критериев в обобщенных затратах на выходе ОПР. Всего классов, как уже отмечалось, m; в один класс входят те ситуации, для которых (по сравнению с другими слагаемыми) минимально одно и то же (i-е) слагаемое в сумме (1), а среди достаточных ситуаций i-го класса оптимальна та, для которой значение этого слагаемого минимально в данном классе [6].

5. Когнитивная категоризация в ССМ

Недостаток вышеописанного способа классификации ситуаций состоит в том, что результат зависит не только от структуры ОПР, но и от значений ресурсов, т. е. переменных величин, которые редко повторяются в ходе работы

объекта. Все представленные выше графовые методы нельзя непосредственно применить к ССМ, поскольку они рассчитаны на сетевые модели и не учитывают постулированную в [1] иерархичность описания ситуации. Поэтому в [14] предложен метод многокритериальной классификации ситуаций нормализованной модели Тверски (НМТ) [15], модифицированной для иерархических объектов.

Известная НМТ определяет расстояние между двумя объектами a и b так:

$$S(a, b) = f(A \cap B) / [f(A \cap B) + \alpha f(A - B) + \beta f(B - A)], \quad (2)$$

где A и B — множества свойств этих объектов; / — символ деления чисел; символ «–» обозначает разность множеств; f — некоторая функция; неотрицательные α и β — веса для общих и различных свойств объектов.

В большинстве методов в качестве функции f используется мощность множества-аргумента. Для ССМ авторами предложена иерархическая модель Тверски (ИМТ), соответствующая определениям 1—3:

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{i}S_i, \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \ldots N$ — номер уровня иерархии, а каждая S_i вычисляется по формуле (2) для подмножеств свойств, входящих в описание этого уровня.

При сравнении иерархических структур множества A_i и B_i включают имена объектов уровня i. В (3) сделано естественное предположение, что различия в свойствах на нижних уровнях иерархии должны влиять меньше, чем на более высоких уровнях. На основе такой классификации строится отображение, переводящее текущую ситуацию в наиболее близкую (семантически) ситуацию из желаемого класса и при этом обеспечивающее минимум структурных различий между целевой и текущей ситуациями, т. е. минимизирующее распространение возмущений в процессе перевода. Вводя веса слагаемых в (3), можно учесть экспертные мнения об относительной важности уровней.

Описанная выше ИМТ (3) дает хорошую основу для работы с ситуациями в ССМ, однако дополнительные исследования показали, что до классификации требуется выполнить формирование и тщательную предварительную обработку архива хранимых в памяти ССМ ситуаций. Далее представлены принципы компоновки и селекции ситуаций в архиве ССМ. Напомним, что *полной ситуацией* в ССМ называется связный фрагмент модели, включающий все интересующие ЛПР ресурсы, при этом ОПР есть корневой объект этого фрагмента. Полная ситуация может содержать альтернативные структуры подчиненной ОПР группы объектов, вводимые при разработке модели путем декомпозиции того или иного объекта с помощью оператора ИЛИ либо заданием альтернативных наборов ресурсов на входах некоторых объектов. Каждая структура, полученная из полной и не содержащая альтернатив реализации, называется *достаточной ситуацией*.

Естественно, архив должен содержать все реальные сценарии [6] работы ССМ в данном приложении, но основной массив информации создается по результатам имитационных экспериментов с моделью исследуемого объекта

(моделью предметной области — МПО). После имитации в архиве должны быть наборы предпочтительных ситуаций всех классов, заданных критерием (1) для всех ОПР, входящих в МПО, для чего решаются следующие задачи.

6. Исследование устойчивости сценариев

С целью повышения устойчивости результатов моделирования к ошибкам в исходных данных предлагается использовать подход, аналогичный методам теории чувствительности, которая применяется в автоматическом управлении (например, [16]). Чтобы снизить влияние ошибок исходных данных на параметры МПО и тем самым повысить точность прогноза при небольших изменениях исходных данных, целесообразно выбирать схему и параметры предварительной обработки данных в процессе моделирования по дополнительному критерию минимального влияния небольших вариаций исходных данных на значения обобщенного критерия качества (1), определяющие параметры модели. Назовем его критерием качества управления (ККУ) моделированием. Похожие по смыслу требования предъявляются к проектируемым алгоритмам и системам в различных областях знания: регуляторы с пониженной чувствительностью и робастные системы в автоматическом управлении, «грубые» модели в теории моделирования и т. д. Общая схема применения ККУ такова: после синтеза модели объекта (или каких-либо ее существенных параметров на промежуточных стадиях моделирования) с использованием обобщенного критерия (1) для некоторого набора экспериментальных данных выполняются определенное изменение этого набора, повторный синтез и оценка изменений обобщенного критерия при сделанных изменениях данных. По результатам оценки выносится заключение о применимости синтезированной модели. Приемлемой можно считать модель, для которой удельная величина изменчивости критерия (1) сопоставима с вызвавшими ее относительными изменениями исходных данных.

7. Обобщение ситуаций

В теории ситуационного управления [1] отмечается принципиальная важность разработки процедур обобщения описаний ситуации на основе их классификации с использованием множества прагматически важных признаков, которое само подлежит синтезу. Указывается также на следующие фундаментальные особенности задач формирования понятий и классификации в ситуационном управлении: наличие процедур обобщения, основанных на структуре отношений между элементами ситуаций; возможность работы с именами, присваиваемыми отдельным понятиям и ситуациям; необходимость согласования классификации ситуаций по некоторому основанию с классификацией на множестве воздействий (управлений).

Для реализации перечисленных принципов обобщения ситуаций предлагается следующая процедура применения ИМТ (3).

В результате классификации ситуаций по критериям (1) генерируется большое количество классов ситуаций, полученных для различных ОПР и различных листьевых объектов этих ситуаций, что однозначно определяет

данную ситуацию ввиду древовидности декомпозиции объектов в МПО ССМ. После отбраковки ситуаций, не удовлетворяющих требованию устойчивости, согласно ИМТ формируются классы предпочтительных ситуаций для каждого ОПР. Исходные данные при этом — типы листьевых объектов и ОПР исследованных достаточных ситуаций, а результат ее работы — уникальный тип достаточной ситуации, дополненный порядковым номером класса, к которому принадлежит текущая достаточная ситуация, и ее номером в пределах этого класса. Порядковый номер класса определяется номером ресурса, который доминирует в этом классе по критерию (1) данного ОПР, а порядковый номер ситуации в пределах класса задается ее предпочтительностью по критерию (1). *Прототипическая достаточная ситуация* каждого класса получает порядковый номер 1. Абсолютной шкалой классификации ситуаций естественно считать их классификацию по глобальному критерию качества (критерию качества для корневого объекта МПО). Обобщение описаний ситуаций в ССМ включает два основных этапа: поиск общих признаков ситуаций, попавших в один класс для каждого исследованного фрагмента МПО, и поиск вхождений ситуаций в ситуации более высоких уровней (высота уровня здесь задается уровнем нахождения ОПР), который осуществляется средствами *Graph Matching* (см. п. 4). Результаты обобщения формируются в виде правил экспертной системы (ЭС) ССМ [6], включающих как положительные, так и отрицательные примеры.

Еще одна группа правил ориентирована на оценку эффективности заложенных в МПО альтернатив. Степень эффективности той или иной альтернативы тем выше, чем шире набор классов ситуаций, в которые попадают достаточные ситуации с различными вариантами данной альтернативы. И обратно: если ни один из имеющихся вариантов выбора не меняет класс достаточной ситуации, то данная альтернатива блокируется, по крайней мере, для того же самого ОПР, чтобы ускорить процесс классификации ситуаций. С другой стороны, желательно уметь заранее определять тот набор свойств, которыми обладают самые «радикально действующие» альтернативы для каждого потенциально желательного варианта изменения областей доминирования.

Все полученные в ходе обобщения правила (по терминологии ситуационного управления они относятся к логико-трансформационным правилам) хранятся в ЭС ССМ и используются как управляющие формулы в процессе классификации ситуаций.

Работа частично поддержана РФФИ (проекты №16-29-04424-офи_м, 16-29-12901-офи_м, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а).

Список литературы

1. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986.

2. *Rosch E.* Cognitive representations of semantic categories // Journal of Experimental Psychology: General. 1975. Vol. 104. P. 192—232.

3. *Lakoff G.* Women, Fire, and Dangerous Things. Chicago, IL : The University of Chicago Press, 1987.

4. *Gärdenfors P.* Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA : MIT Press, 2000.

5. *Stotz A., Nagi R., Sudit M.* Incremental Graph Matching for Situation Awareness // Proc. 12th International Conference on Information Fusion, Seattle, WA, USA, July 6—9, 2009. Seattle, WA, 2009. P. 452—459.

6. *Фридман А.Я.* Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrucken : LAP, 2015.

7. *Gärdenfors P., Williams M-A.* Reasoning about Categories in Conceptual Spaces // Proceedings International Joint Conference on Artificial Intelligence. Cambridge : Cambridge University Press, 2001. P. 302—320

8. *Толстова Ю.Н.* Основы многомерного шкалирования. М. : КДУ, 2006.

9. *Rosch E.* Cognitive representations of semantic categories // Journal of Experimental Psychology: General. 1975. Vol. 104. P. 192—232.

10. *Препарата Ф., Шеймос М.* Вычислительная геометрия: введение. М. : Мир, 1989.

11. *Hlaoui A., Shengrui W.* A new algorithm for inexact graph matching // Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2002. Vol. 4. P. 180—183.

12. *Šiljak D.D.* Dynamic Graphs. URL: http://www.ee.scu.edu/eefac/siljak/papers/ Dynamic%20Graphs_Conf.pdf (дата обращения: 08.12.2017).

13. *Lundberg J.* Situation Awareness Systems, States and Processes: A holistic framework // Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2015. Vol. 16(5). P. 447—473.

14. *Фридман А.Я., Кулик Б.А.* Когнитивная категоризация в многокритериальных задачах ситуационного управления // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3—7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия) : труды конференции : в 3 т. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 2. С. 225—234.

15. *Tversky A.* Features of similarity // Psychological Review. 1977. Vol. 84, №4. P. 327—352.

16. *Томович Р., Вукобратович М.* Общая теория чувствительности. М., 1972.

А.Е. Ширкин[1], М.В. Тарачков[2], И.К. Перминов[3]

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

e-mail: [1]shirkin39@mail.ru, [2]mishklgpmi@mail.ru, [3]ilyakonstantinovich@yandex.ru

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ АВТОНОМНЫМ РОБОТОМ ТОРГОВОГО ЗАЛА

Введение

Количество областей профессиональной деятельности человека, в которую внедряется робототехника, растет с каждым годом. В последнее время все больше автономных роботов появляется в супермаркетах США, Японии, Канады. На складах компании *Amazon* в данный момент трудятся сотни мо-

© Ширкин А.Е., Тарачков М.В., Перминов И.К., 2018

бильных роботов, решая задачи логистики, такие как распределения товаров по стеллажам (задача Pick and Place) [1], перемещение стеллажей и т. д. Они взяли на себя часть работы мерчандайзеров. Это опытные образцы роботов, цена на которые высока. Комплексного решения, способного заменить мерчандайзера, еще нет.

В лаборатории «Интеллектуальная робототехника» БФУ им. И. Канта были проведены исследования по теме применения мобильных роботов для задач в области мерчандайзинга.

Цель данного исследования — автоматизация рабочего процесса в гипермаркетах, что сокращает численность персонала и улучшает качество обслуживания.

Сформулированы следующие задачи: определение корректности ценников на стеллажах; распознавание товара на стеллажах; определение наличия товара на стеллаже.

Их решение позволит автоматизировать часть обязанностей мерчандайзера, что станет отправной точкой, и в дальнейшем может появиться множество модификаций, которые в итоге дадут возможность достичь поставленной цели.

Был спроектирован колесный робот, оборудованный тремя камерами, две из которых охватывают вертикальную, а одна горизонтальную ось (рис. 1).

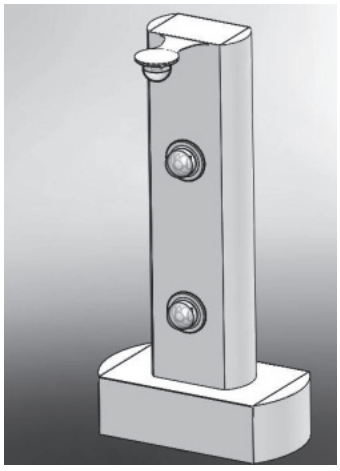


Рис. 1. 3D-модель автономного робота торгового зала с тремя камерами

В статье рассмотрена первая задача компьютерного зрения, а именно детектирование объектов на изображении с бинарной классификацией. Для ее решения используются искусственные нейронные сети.

1. Подготовка данных

Первый этап создания модели — сбор фотографий (сделаны камерой Canon 550d) с ценниками (рис. 2).

Для обучающей последовательности сделано около 10 тыс. фотографий, что позволило отобрать данные различного типа и обучить модель на большом разнообразии вариантов постановки ценников на стеллаже.

Большое количество данных не подразумевает решенную задачу. Чтобы классификатор мог обучаться, необходимо вручную указать модели, где на снимке находятся ценники, а также то, что это именно ценник, иначе мы не сможем корректировать ошибку модели.

Модель размечалась утилитой labelImg (рис. 3).

Рис. 2. Пример снимка с ценниками:
белые рамки — товары с удаленными логотипами

Рис. 3. Использование утилиты labelImg для разметки набора данных

Размечены все прямоугольные ценники на изображении, и им присвоен класс *price*. Подобным образом размечены все фотографии и сгенерированы конфигурационные файлы с именем директории, в которой лежит фотография, классом и координатами рамок.

2. Выбор архитектуры нейронной сети

Рассматривались следующие нейронные сети: Fast RCNN [2], Faster RCNN [3], RetinaNet [4]. Согласно результатам исследований, приведенным в [3], Faster RCNN — улучшение Fast RCNN, и выбор сузился до двух моделей. Faster RCNN — один из самых эффективных алгоритмов детектирования множества объектов, двухэтапный подход, где одна сеть обучается находить правильные рамки для объектов, а другая проводит их классификацию. RetinaNet — один из новых подходов, который, по мнению его авторов, лучше и быстрее Faster RCNN на наборе данных Microsoft COCO. Двухэтапные методы хорошо зарекомендовали себя в современных задачах, но у одноэтапных страдает точность. Чтобы решить эту проблему, создатели изменили стандартную функцию потерь — кросс-энтропию — для снижения дисбаланса классов в выборке. В большей части процесса обучения на нейронную сеть попадает множество предполагаемых участков, где может содержаться объект, и в основном объект находится только в наименьшей части выборки. Новая функция потерь — фокальная функция потерь — решает эту проблему, понижая вклад в градиент примеров без искомого объекта:

$$FL(p_i) = -(1-p_i)\gamma \log p_i .$$

Качество данной модели обусловливается подбором нового гиперпараметра, содержащегося в функции потерь. Различные значения параметра поразному уменьшают потерю для объектов, не принадлежащих классу, как показано на рисунке 4.

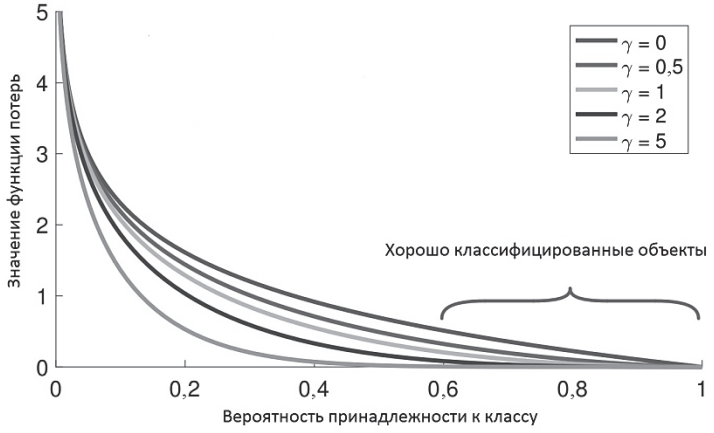


Рис. 4. Изменение значения функции потерь в зависимости от гиперпараметра

Модель показала хорошую скорость сходимости и качество распознавания.

3. Обучение и результаты

Для обучения нейронной сети использовался компьютер с характеристиками, приведенными в таблице.

Параметры компьютера для обучения нейронной сети

Параметр	Значение
ОС	Linux Ubuntu 16.04
Процессор	Intel Xeon
Объем ОЗУ	32 Гб
Видеокарта (2 шт.)	NVidia GeForce GTX 1070ti
Память	SSD 120 Гб

Нейронная сеть реализована в фреймворке Keras 2.1.3 с библиотекой TensorFlow в качестве ядра. Обучение распределено на две видеокарты, что значительно увеличило скорость сходимости процесса. Полученные результаты показаны на рисунке 5.

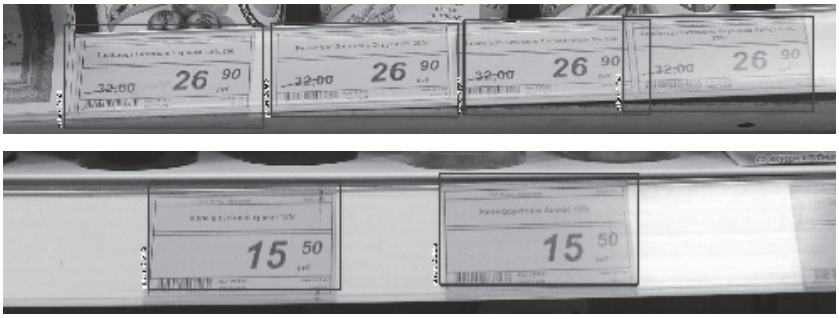


Рис. 5. Результат работы детектора

Результаты работы сети измерялись при помощи метрики Mean Average Precision. Был получен результат mAp = 0,82, обусловленный наличием в выборке отклеивающихся или расположенных под углом ценников. В выборке их мало по сравнению с остальными, что говорит о дисбалансе.

Тестирование алгоритмов планируется в виртуальной среде Unity (рис. 6).

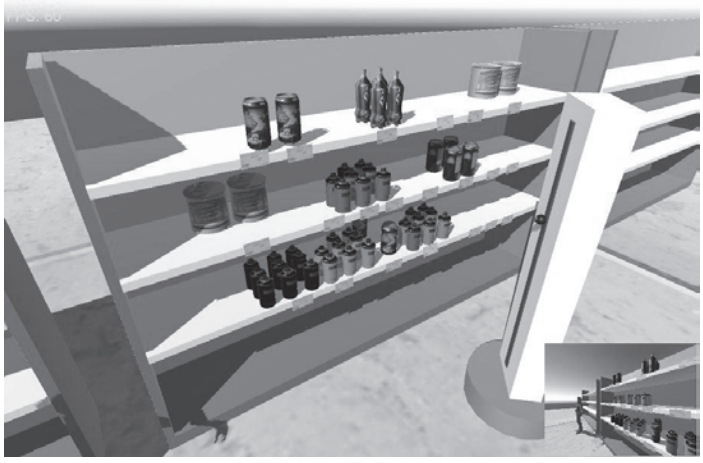


Рис. 6. Виртуальное пространство для испытаний робота в Unity

После проведения тестов на модели они будут проведены в магазине розничной торговли.

Заключение

В работе решена задача автоматизации мерчандайзинга в розничной торговле. Полученные результаты планируется применить для распознавания основных данных на ценнике. Планируется моделирование многопараметрической классификации товаров для решения задач low-stock и out-of-stock.

Список литературы

1. *Correll N., Bekris K.E., Berenson D. et al.* Analysis and Observations from the First Amazon Picking Challenge // IEEE Transactions On Automation Science And Engineering. 2018. Vol. 15(1). P. 172—188.

2. *Girshick R.* Fast RCNN // The IEEE International Conference on Computer Vision(ICCV), 2015. IEEE, 2015. P. 1440—1448.

3. *Ren Sh., He K., Girshick R., Sun J.* Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // Advances in Neural Information Processing Systems 28. N. Y. : Curran Associates, 2015. P. 91—99.

4. *Lin T-Y., Goyal P., Girshick R. et al.* Focal Loss for Dense Object Detection. URL: https://research.fb.com/wp-content/uploads/2017/08/focallossdensedetection.pdf? (дата обращения: 08.12.2017).

Секция 4

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ, ОНТОЛОГИИ, МЯГКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Руководитель секции — д-р физ.-мат. наук, проф. Г. С. Осипов
д-р техн. наук, проф. Н. Г. Ярушкина

И. Б. Арефьев[1], Е. К. Коровяковский[2]
[1]Морская академия, Щецин, Польша
[2]Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: i.ariefiew@am.szczecin.pl

ЛОГИКО-РЕФЛЕКСИВНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Введение

Анализ существующих методов для оперативного контроля объектов по конечному множеству показателей показал их недостаточную эффективность в современных условиях моделирования процессов принятия и поддержки решений по управлению производственно-техническими объектами. Это связано с растущими требованиями к точности оценки состояния социально-экономических объектов, систем повышенной сложности, качеству отдельных изделий, что вызывает постоянное расширение базы их параметров. Результат научно-технического прогресса — выявление новых характеристик объектов всех типов и, как следствие, необходимость в инструментарии их измерения, оценки состояния, выбора и поиска наилучших решений для дальнейшего использования и эксплуатации. Возникла задача разработки методов и средств многофакторной оценки и обоснования эффективности таких решений в каждой области знаний для конкретных показателей исследуемого (проектируемого) объекта.

1. Постановка задачи

Одним из методов многофакторного анализа может быть модификация логико-рефлексивного подхода к оценке многофакторных систем [1; 2]. В принципе, система любой сложности может считаться многофакторной. Дело в том, что отсутствие соответствующих методов оценки и контроля конкретного объекта заставляет условно сокращать базу данных показателей его состояния [3].

Отбор фундаментальных факторов относит остальные к малозначащим и исключает их из анализа. Даже для простейшего изделия типа «тело вращения» качество как характеристика общего состояния этого объекта оценива-

© Арефьев И. Б., Коровяковский Е. К., 2018

ется последовательностью весьма ограниченного числа групп показателей, формируемых из доступных исследователю фиксированных параметров, поддающихся количественному измерению: длина, диаметр, чистота обработки [4]. Попробуем условно продлить этот список: ширина фасок, конусность, эллипсоидность, предельное расширение при повышении температуры, характеристика материала и т. д. Сюда следует добавить экономические параметры, такие как цена, стоимость, прямые и накладные расходы, условия хранения и т. п. Очевидно, что список стремится к бесконечности. Логика анализа диктует применить процедуру группировки однохарактерных параметров в единые комплексы — показатели объекта (изделия), которые в практике вступают между собой в сложные отношения и взаимоисключающие связи. В первую очередь, это относится к группам показателей «качество — стоимость», «затраты — время», «материал — долговечность», «ошибка измерения — время эксплуатации», «надежность — цена» и т. п. С позиций семиотических представлений показатели как группы понятий представляют информацию о параметрах в виде матриц и списков и относятся к операции формирования подъязыка проектируемой модели. Такая операция необходима в связи с тем, что оценки значительного числа реально доступных для оценивания объекта параметров, как правило, носят вероятностный (статистический) характер и требуют постоянной коррекции с течением времени в связи с появление новых технологий, инструментария, материалов и т. д. [4].

Предлагается метод, который на базе логико-рефлексивного подхода относительного шкалирования множества факторов состояния объекта сочетается с формальной логикой их связей и зависимостей с целью оценки и выбора наилучшего результата по совокупности показателей, определяющих базу данных для многофакторного анализа состояния объекта любого типа. Указанный подход можно считать дальнейшим развитием семиотических представлений в области моделирования многофакторных систем, к которым теоретически можно отнести все существующие объекты и изделия.

Анализ объекта традиционно начинается с выявления множества параметров, по которым необходимо оценить его состояние. Дать такую оценку на бесконечном множестве параметров нереально. Всё зависит от степени их изученности, технических, теоретических и статистических вычислений, измерений и инструментальных средств определения реальной оценки каждого из них. При этом степень недостоверности измерений и вычислений параметра определена допусками (колебаниями), которые исследователь может принять как возможную ошибку (Δx_{ijf}). Обычно выбирают группу наиболее значимых параметров с их допусками: 5—7 % от измеряемой величины. Их принимают за критерии оценки состояния объекта. Остальные же трактуются как ограничения формируемой модели объекта. Такой подход приводит к тому, что нарушение любого ограничения рассматривается как факт неработо-

способности объекта (брак, ненадежность, низкое качество и т. п.). По существующим правилам теории управления такой объект (элемент, модель) считается неэффективным. Искать на этом пути множество Парето не имеет смысла, так как оно само является подмножеством эффективных решений по x_{ij}. Следовательно, найти оптимум качества (функционирования, эксплуатации) объекта можно только по группам критериальных параметров. Остальные параметры определяют показатели, которые фиксируют факт неработоспособности, ненадежности, значительного отклонения величины параметра от заданного, что вызывает отбраковку данного изделия, объекта или процесса.

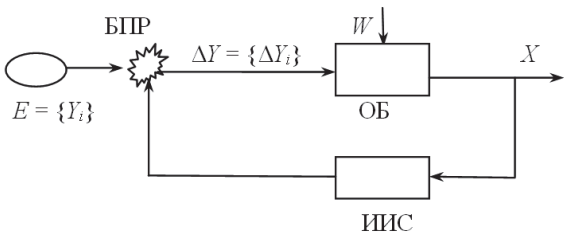
Эффективный способ решения таких задач — семантическая сеть, когда паре вершин i и j соответствует дуга величины $k(i, j) \in [0,1]$. Эта величина определяет степень принадлежности пары нечеткому отношению. В реальности указанный процесс характеризует неполноту знаний субъекта, который осознает причинно-следственную связь $i - j$, но не может объяснить промежуточные звенья рассуждений. Интуитивно понятно, что между i и j существует множество подобных пар, но для их идентификации исследователь не обладает знаниями и данными [1]. К тому же семантическая сеть упрощенно носит линейно-плоский (двумерный) характер. В таких случаях формальная модель имеет вид:

$$F = \langle S, Mr \rangle,$$

где S — выявленное множество свойств объекта с конкретными значениями; Mr — нечеткое отношение «причина — следствие» на множестве S.

Семантика заключается в том, что если $z_i = (q_i, v_i)$, $z_j = (q_j, v_j)$, $(q_i, q_j) \in S$, $i \neq j$, когда v_i, v_j — значения свойств q_i, q_j, то для каждой пары (z_i, z_j) соответствует число $k(z_i, z_j) \in [0,1]$, определяющее степень принадлежности пары нечеткому отношению.

Вместе с тем, отказавшись от строгого математического решения при многопараметрической оценке состояния объекта, логично ввести в модель систему условных кодов. Тогда каждый известный или потенциально допустимый параметр считается равноценным в представлении показателей состояния объекта [3]. Качество состояния объекта будет определено по конечному множеству его показателей в соответствии с обоснованным эталоном. Данное кодирование следует заложить в модель выявленных групп параметров x_{ij} как некоторую совокупность показателей Y_i. Следовательно, эталонным можно считать такое состояние объекта (изделия), когда все его факторы E известны и однозначно соответствуют системе заданных показателей y_i. В основу приведенного вывода положены рассуждения, основанные на модифицированной схеме Н. Винера (рис. 1).



Обозначения:
ОБ – объект управления;
E – эталон (модель) объекта управления;
БПР – блок принятия решения о состоянии объекта;
ИИС – информационно-измерительная система;
W – внешние воздействия среды на объект

Рис. 1. Модифицированная схема Винера

Действительно, если за объект анализа принимается некоторая система (ОБ), то нетрудно определить эталон его состояния E в каждый момент времени или на определенном интервале его эксплуатации набором заранее заданных или рассчитанных факторов $E = \{Y_i\}$, $i = \overline{1, I}$, имеющих фиксированные значения, где I — число обоснованных *i*-факторов оценки состояния объекта [2].

В реальных процессах управления и прогнозирования нет смысла давать вероятностную оценку этим значениям, поскольку любое отклонение от эталонного $(+\Delta y_i, -\Delta y_i)$ есть ошибка, снижающая через показатель и параметр качественную характеристику фактора по отношению к эталону. Она должна учитываться как расчетная величина, полученная на основе оценок *X*, *S* и принимающая абсолютное значение $y = |y - \Delta y_i|$. Для этого следует определить группу показателей y_i ($y_i = \{X_{ij}\}$, $j = \overline{1, J}$), формирующих данный объектный фактор, и дать ей оценку по каждому из показателей y_i.

Проявление любой совокупности ΔY, полученной по данным ИИС, трактуется как нарушение условия E и требует соответствующей реакции БПР в оценке состояния ОВ. Следовательно, необходимо в оценку каждого из показателей X_{ij} ввести конечное множество групп параметров S_{ijf}, когда $x_{ij} = \{S_{ijf}\}$ при $f = \overline{1, F}$, где F — число исходных параметров оценки состояния объекта (база данных). На этом уровне конкретный параметр рассматривается как величина измерения (вычисления), оцениваемая по реальным выходным показателям функционирования объекта на данный момент или за установленный промежуток времени, интервала контроля, периода прогнозирования, времени жизни объекта и т. п. Здесь уместно указать, что параметры о состоянии объекта должны быть обоснованы измерениями, показаниями датчиков или документированной информацией с числовыми значениями параметра.

Таким образом, примем за меру качества объекта результат сравнения процедуры последовательной оценки фиксированных групп параметров, показателей и факторов данного объекта с его эталонными факторами состояния, требуемого заказчиком (пользователем).

2. Разработка метода

С позиции теории систем эталоном можно считать отсутствие ошибок и отклонений показателей поведения исследуемого объекта, т. е. $\sum \Delta Y_i = 0$. Утверждение справедливо при $W = 0$. Здесь сразу возникает смысловая проблема. Элементы, составляющие анализируемую систему (производство, процесс, управление и т. д.), практически всегда имеют разную физическую природу, измерительные характеристики, методы определения и контроля, что четко проявляется даже в элементарных системах массового производства микросхем, метиза и крепежа.

Оценка факторов по принципу допусков, вероятностных условий, статистики носит весьма приблизительный характер. При этом методы многофакторного анализа слишком громоздки и сложны для таких простых объектов, выпускающих малоценную продукцию. На следующем шаге оценки состояния объекта задача еще более усложняется тем, что каждый из параметров может сохранять свое постоянное значение, но в пределах частной задачи. Переход к другому варианту выпуска продукции или изменение задачи (переналадка оборудования, смена инструментария), как правило, меняет значение параметра. Например, чистота поверхности при обработке вала для контрольно-измерительной аппаратуры — основной параметр, а при производстве судовых редукторов носит второстепенный характер.

Понятно, что ошибка измерения присутствует в обоих вариантах приведенных примеров и, строго говоря, не может быть нулевой ($\Delta \neq 0$). Поэтому она всегда учитывается как отрицательная ошибка в оценке данного показателя, параметра или фактора.

Нетрудно сделать вывод, что оценка состояния любого объекта или технологического процесса представляет собой тернарную систему последовательных операций, которую схематично можно представить в виде линейного алгоритма (рис. 2).

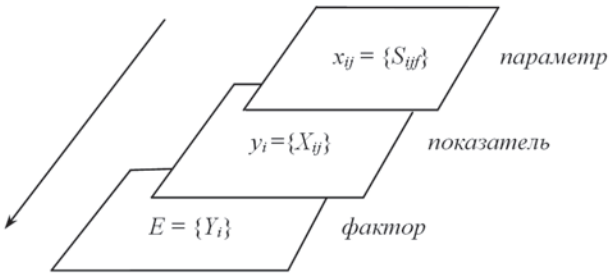


Рис. 2. Вывод эталонного фактора оценки состояния объекта

Однако утверждать, что совокупность показателей Y — эталон E, в такой интерпретации несправедливо. Каждый Y_i характеризует конкретную группу Y_i $(i=\overline{1,I})$. Эти группы разномерны по шкале измерений их физических, экономических, информационных и других факторов. Для наиболее эффективного результата принятия решения в БПР о состоянии объекта необходимо изменить систему кодирования исходных данных по факторам и привести к единой логике их параметрического представления. В такой интерпретации и рассмотрим двухшаговую процедуру реализации указанного предложения.

1. Логика системного анализа диктует условие многофакторности объектов и явлений. Тогда исследователь находится в весьма трудном положении. Учесть все возможные факторы оценки объекта нереально из-за невозможности сформировать многофакторную базу данных в силу ограниченного объема знаний, парка контрольно-измерительной техники, отсутствия соответствующих методов и средств вычислений ($S \in X$, $X \in Y$, $Y \in E$). В этой ситуации сведем все факторы и их производные параметры к единичной шкале измерений.

Предположим, что известно (вычислено, установлено) эталонное значение каждого параметра S_{ijf} в последовательности $s_{ij1}, s_{ij2}, s_{ij3}, s_{ij1}, ..., s_{ijF}$ $(f=\overline{1,F})$. Если считать, что в оценке объекта и его качества функционирования каждый выявленный параметр одинаково важен по отношению к другим, можно перейти от абсолютной шкале их представления в относительной (единичной) форме:

$$s_{ijf} \longrightarrow 1,0; \qquad s''_{ijf} \longrightarrow z.$$

Решив традиционное уравнение перехода к относительной шкале, получим значение каждого фактора на единичной шкале измерения:

$$z_{ijf} = s''_{ijf} \cdot 1,0 / s_{ijf}.$$

Представим полученные результаты в табличной форме — как базу данных для оценки состояния объекта по параметрическому анализу (табл.).

База данных оценки состояния объекта по параметрам

Параметр s_{ijf}	Код параметра	Абсолютное значение	Относительное значение
1. Название параметра s_1	$ij1$	s_{ij1}	z_{ij1}
2. Название параметра s_2	$ij2$	s_{ij2}	z_{ij2}
3. Название параметра s_3	$ij3$	s_{ij3}	z_{ij3}
…	…	…	…
f. Название параметра s_f	ijf	s_{ijf}	z_{ijf}

2. Таблица предложена в предположении конечности числа параметров анализа состояния объекта. Однако с позиций общей теории систем суще-

ствует понимание, что множество таких параметров стремится к бесконечности. Становится ясным, что если сравниваемые параметры располагать линейно, то они сольются в единую схему показателей, их сравнимость на уровне показателей, тем более — факторов, окажется единичной, советующей шкале представления измеряемой величины. Плоско-парное расположение параметров даст адекватную оценку только для этой пары и не решит задачу в целом.

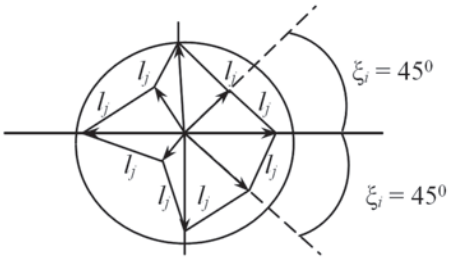


Рис. 3. Единичная веерная схема исходной системы параметров объекта

В примере на рисунке 3 представлено восемь параметров некоторого объекта, расположенных пропорционально (под 45^0).

Величина каждого вектора соответствует величине параметра в относительной (единичной) шкале измерения. Тогда

$$r = 1,0;\ D = 2,0;\ L = \pi D.$$

Значит, можно утверждать следующее.

1. Чем более изучен объект, тем большее число параметров — радиусов единичной окружности — может быть представлено в схеме на рисунке 3.

2. Чем больше вектор, тем ближе он к эталонной оценке состояния объекта по данному параметру ($x_{ij} = 1$).

Рассуждая подобным образом, установим, что при $x_{ij} \to \infty$ качество состояния объекта может быть определено практически с вероятностью $P = 1,0$ как по совокупности параметров, так и по производным от него показателям y_i и фактору E. В прикладном варианте анализа состояния объекта достаточно соотнести теоретически возможное качество данного объекта по фактору E как сравнение величины длины окружности единичного круга L^0 с длиной ломаной линии, соединяющей вершины векторов оценки параметров (L):

$$L^0 = \pi D = 3,14 \cdot 2 = 6,28;$$
$$L_f = \sum l_{ijf} \quad (f = \overline{1,F}).$$

Для состояния (качества) исследуемого объекта: $L^0 = 6,28 \longrightarrow$ абсолютный эталон; $L^0 - L_{ij} = \Delta L_{ij} \longrightarrow$ параметрическая мера; $L^0 - L_i = \Delta L_i \longrightarrow$ показательная мера; $L^0 - L_E = \Delta L_E \longrightarrow$ факторная мера.

Таким образом, для каждого объектного фактора, учитывая его оригинальность (специфику), можно графо-матричным способом дать вполне

обоснованную оценку объекта или изделия по совокупности его выявленных и вычисленных параметров (показателей). При этом, поступая аналогичным образом, когда удается обосновать меры и характер различных факторов состояния объекта, вполне допустимо провести и его многофакторный анализ.

Заключение

Логико-рефлексивный метод на практике показал свою эффективность, когда набор факторов для вывода решения о состоянии объекта превышает определенный порог даже при теоретической бесконечности исходных параметров этой оценки. Основное достоинство метода — возможность получения численного решения оценки исследуемого объекта для отнесения его к заданному классу как для задач распознавания, так и для задач вывода.

Список литературы

1. *Арефьев И.Б.* Логико-рефлексивное представление моделей древовидных структур // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. Ч. 1. С. 56—60.

2. *Ariefiew I.* Forecasting and control object of management in the environment of system PERT. Szczecin: Maritime University, Biblioteka cyfrowa, 2012.

3. *Карпов А.В.* Психология рефлексивных механизмов деятельности. М. : Изд-во ИП РАН, 2004.

4. *Арефьев И.Б., Коровяковский Е.К.* Принцип распознавания проблемных ситуаций на базе интегральных характеристик // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 206—217.

А.В. Григорьев
Донецкий национальный технический университет, Донецк, ДНР
e-mail: grigorievalvl@gmail.com

СЕМИОТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ КАК ОСНОВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ САПР

Введение

Концептуальная модель предметной области (КМ ПрОб) по определению — база инструментального комплекса для построения экспертных систем. Открытый многоуровневый характер базы знаний о методиках проектирования САПР [1] требует использовать для ее построения семиотическую модель (СМ) — открытую формальную систему как восьмерку [2]:

© Григорьев А.В., 2018

$$F = <T, C, A, П, r, b, g, d>,$$

где T — множество базовых элементов системы, на которых строятся все выражения в F; C — множество правил построения синтаксически правильных формул, определяющих среди всех возможных выражений из базовых элементов те, которые синтаксически правильны; A — множество аксиом F, образующее подмножество S в множестве синтаксически правильных формул C, которым априорно присваивается статус семантической истинности; $П$ — множество правил вывода, или семантические правила, позволяющие получать из аксиом новые синтаксически правильные формулы, которым можно приписывать статус истинности; r, b, g, d — правила изменения для T, C, A и $П$ соответственно.

Для конструктивности семиотической модели требуется реализация следующих классов процедур: $П1$ — определения принадлежности данного элемента множеству T; $П2$ — идентификации различия элементов множества T; $П3$ — определения синтаксической корректности элементов, построенных посредством правил C. Процедуры $П1$, $П2$ и $П3$ должны быть конструктивными, т. е. завершаться через определенное число шагов. Конструктивная СМ разрешима, если существует конструктивная процедура $П4$, дающая однозначный ответ на вопрос: является ли данный синтаксически корректный элемент из C семантически верным (т. е. входящим в S)?

Предлагаемая семиотическая КМ ПрОб интеллектуальных САПР представляет собой не одну, а комплекс семиотических моделей, связанных отношениями достижимости. Цели построения такой системы связанных СМ:

1) разработка системы вложенных баз знаний, описывающих методики проектирования объектов некоторой ПрОб для САПР на различных абстрактных, структурных и функциональных уровнях, включая: построение системы СМ, связанных отношениями расширения семантики модели, дообучения; изобретения и т. п.; представления объектов проектирования для САПР в «универсальной» форме представления, не зависящей от выбранной ПрОб; адаптацию «универсальной» СМ на заданную целевую ПрОб;

2) создание на основе этой комплексной СМ соответствующего инструментального комплекса, метаэвристической оболочки (МЭО) [3] для построения баз знаний методик проектирования интеллектуальных САПР, способного адаптироваться на условия целевой ПрОб (требуемые уровни абстракции, квалификация проектировщика в инженерии знаний и т. п.) [4].

Цель работы — изложить основные принципы предлагаемой КМ ПрОб.

1. Общий порядок построения формальных моделей, составляющих новый уровень СМ

Формальная модель на любом уровне СМ — система вложенных модулей знаний для структур и функций. Модуль знаний описывает тип, т. е. множество близких по назначению блоков. Структура блока: внешняя граница;

внутренняя граница как набор внутренних блоков; внутренняя среда как набор структурных (или функциональных) связей блоков. В соответствии с принятой структурой блока строится и модуль знаний, а именно подмодули внешней границы, внутренних подблоков и связей. Структурному блоку соответствует модуль знаний полноценной структуры, т. е. он включает внешнюю границу, подблоки и связи. Отличие модуля знаний функций состоит в том, что он имеет только модель структуры внешней границы. «Простой» уровень СМ — процесс построения единичного модуля знаний. Данный уровень СМ включает три базовых уровня СМ: уровень построения внешней границы, уровень построения состава подблоков и уровень построения состава связей между подблоками. Таким образом, подмодуль — единичная базовая формальная модель. Ввод подмодуля составляет содержание базового уровня СМ. Построение единичного модуля знаний может осуществляться двумя путями:

1) прямым экспертным вводом, т. е. прямым вводом подмодулей знаний для границы, подблоков и связей и установлением между подмодулями взаимных продукционных зависимостей;

2) путем обучения, т. е. использованием для обучения как прототипов статических структур блоков, так и прототипов функционирования блоков (жизненных циклов, динамических описаний структур и функций).

Каждый новый уровень СМ предполагает уточнение физической семантики предыдущего уровня. Способом уточнения семантики может быть либо декомпозиция предыдущей модели, либо ее агрегация.

Каждый новый уровень СМ по семантике выше предыдущего, так как расширяет его. Новая единичная формальная модель, создаваемая прямым вводом, состоит в декомпозиции как НЕ-фактора элемента модели нижележащего уровня СМ. Процесс создания новой единичной формальной модели путем обучения состоит в извлечении прототипов функций и структур из жизненного цикла, представленного для обучения. Технически это выполнение теоретико-множественной операции (ТМО) над грамматиками. Как в первом, так и во втором случае построение единичной формальной модели состоит во введении сигнатуры, грамматики, аксиоматики, правил вывода, множества семантически верных выражений.

Существуют следующие отношения достижимости в рамках СМ, задающие порядок создания элементов единичных компонент новых формальных моделей.

1. Между уровнями СМ — варианты: а) между компонентами смежных формальных моделей в рамках одной СМ; б) между различными смежными СМ; задают порядок построения «нового» уровня СМ на базе «старого».

2. Между отдельными компонентами единичной формальной модели, составляющими один базовый уровень СМ: сигнатурой, грамматикой, аксиоматикой, правилами вывода, множеством семантически верных выражений; задают порядок построения элементов формальной модели.

Как в первом, так и во втором случае используются следующие инструменты построения отношений достижимости: декомпозиция (агрегация) объектов с помощью НЕ-факторов [4; 5]; теоретико-множественные операции над грамматиками (ТМО) [6].

2. Уровень квалификации проектировщика в инженерии знаний и его влияние на порядок построения компонентов формальной модели

Конкретный порядок построения элементов формальной модели на уровне СМ определяется степенью квалификации проектировщика в инженерии знаний (ИЗ). Рассмотрим соответствие квалификации проектировщика в ИЗ и порядка построения формальной модели на уровне СМ как базы знаний по методикам проектирования (табл. 1).

Таблица 1

Способы построения единичной формальной модели как уровня семиотической модели в зависимости от квалификации эксперта по инженерии знаний

Уровень квалификации проектировщика в ИЗ	Способ создания базы знаний методики проектирования
Низкий	Предоставление прототипов для обучения (семантически верных выражений)
Средний	Прямой ввод сигнатуры и грамматики как И-ИЛИ-дерева, ввод отношений совместности-несовместности над ИЛИ-узлами как формы аксиоматики (онтология)
Высокий	Прямой ввод системы правил, косвенно вводящих аксиоматику (продукционная БЗн)

Эксперт низкой квалификации. Ввод пользователем: множества семантически верных выражений. Автоматическое построение: сигнатуры, грамматики, аксиоматики и правил вывода.

Эксперт средней квалификации. Ввод пользователем: сигнатуры, грамматики и аксиоматики. Автоматическое построение: правил вывода и множества семантически верных выражений.

Эксперт высокой квалификации. Прямой ввод пользователем правил вывода. Косвенный ввод, автоматическое построение: сигнатуры, грамматики, аксиоматики и множества семантически верных выражений.

Таким образом, низкая квалификация эксперта предполагает при создании подмодулей знаний путь обучения, а средняя или высокая квалификация эксперта — различные варианты прямого ввода.

Исходя из способа уточнения семантики (агрегация, декомпозиция), пути ввода подмодуля знаний (прямой ввод, обучение), уровня квалификации проектировщика в ИЗ (низкая, высокая, средняя) предлагаются комплекс методов построения подмодулей знаний с помощью НЕ-факторов и соответствующий комплекс методов выполнения ТМО над грамматиками [7].

3. Общая структура предлагаемой семиотической КМ ПрОб

В рамках КМ ПрОб рассматривается следующий комплекс СМ [7].

1. СМ системы уровней представления *моделей потенциалов* данной ПрОб [6] как уровней представления типов данных и множеств их дискретных значений (СМ_1). Описывает простейшую физическую семантику ПрОб. Рассматривает ограниченную формальную модель, фактически включая в себя только сигнатуру и грамматику ограниченного вида.

2. СМ объектов проектирования *структурного уровня и микромодели функционально-логического уровня* (ФЛУ) представления объектов проектирования (СМ_2). Строится на базе расширения физической семантики ПрОб в СМ_1. Расширяет сигнатуру и грамматику СМ_1. Вводит понятие разницы потенциалов, модели пространства, времени, структурных блоков, типа структурной связи, дискретных функциональных блоков. Модель пространства, времени, потенциала — дискретная. Базовая функция — табличная. Рассматривает полноценную формальную модель, т. е. включает в себя сигнатуру, грамматику, аксиоматику и правила вывода. Имеет проблемно-независимую, универсальную форму представления, выраженную системой языков формальных спецификаций. С точки зрения САПР представляет собой микромодель, т. е. объединенную с помощью модели структуры систему базовых функциональных блоков [8].

3. СМ функционального, алгоритмического представления объекта проектирования, заданная в форме *функциональной макромодели ФЛУ* САПР (СМ_3). Строится на базе расширения СМ функционально-логического уровня представления объекта проектирования, т. е. на базе СМ_2. Состоит во внесении в модель новых алгоритмических блоков различных уровней абстракции (макромоделей), формируемых путем агрегации данных нижележащих блоков и построения системы условий для определения моментов окончания функционирования алгоритмических блоков. Строится на базе исходной системы структурно-функциональных блоков базового структурного уровня для СМ_2 (микромодели). Расширяет сигнатуру, грамматику, аксиоматику и правила вывода.

4. СМ *дообучения* формальной модели [7] за счет включения новых прототипов структур тех или иных типов блоков либо их жизненных циклов объектов проектирования в текущую формальную модель предметной области данного уровня абстракции (СМ_4). Состоит в расширении модели структур и функций базовых блоков функционально-логического уровня представления объекта проектирования СМ_2. Предполагает расширение сигнатуры, грамматики, аксиоматики и правил вывода за счет расширения множества семантически верных выражений текущей СМ_2.

5. СМ *доизобретения* новых прототипов [9] для предметной области (СМ_5). Состоит в изменении модели структур и функций блоков функционально-логического уровня представления объекта проектирования СМ_2.

Предполагает расширение множества семантически верных выражения текущей СМ_2 за счет изменения аксиоматики и правил вывода формальной модели. Сигнатура и грамматика при этом не изменяются.

6. СМ *количественной макромодели* объекта проектирования (уровень уравнений Кирхгофа), представленной в форме вычислительной модели (СМ_6). Строится на базе расширения семантики СМ_2. По-прежнему рассматривает дискретную модель пространства и времени. Предлагает новую модель потенциала — на базе непрерывных, интервальных значений — и использование программирования в ограничениях [5] как метода построения базовой функциональной модели блоков. Расширение состоит в следующем: внесение в модель фазовых переменных (напряжения, тока), введение координат взаимодействия потенциалов (емкости, индуктивности, сопротивления, источников тока и напряжения), расширение дискретной модели пространства и времени, внесение законов сохранения. Расширяет сигнатуру, грамматику, аксиоматику и правила вывода.

7. СМ *адаптации* (перекодирования) избранной СМ структурного, функционально-логического или количественного макроуровня (СМ_2, СМ_5), поданных в универсальной, проблемно-независимой форме представления, к конкретной ПрОб (СМ_7) [10]. Состоит в построении систем интерфейсов «язык формальных спецификаций данного абстрактного уровня» — «внутренний язык представления модели объекта проектирования данного проблемно-ориентированного САПР». Реализует «принцип аналогии» для САПР. Предполагает соотнесение сигнатур и грамматик двух формальных моделей одного уровня абстракции. Имеет две формы — СМ_7_2 и СМ_7_6. Число таких СМ соответствует числу ПрОб.

В таблице 2 приведен список отношений достижимости КМ, а на рисунке 1 — примеры переходов межу уровнями. Структура МЭО и технология работы с МЭО проиллюстрированы на рисунке 2.

Таблица 2

Отношения взаимной достижимости семиотических моделей

Идентификатор СМ	Семантика СМ	Базовая СМ	Отношение перехода между СМ
СМ_1	Модель потенциалов	нет	Нет
СМ_2	Структурная и функционально-логическая модель в форме микромодели	СМ_1	Декомпозиция
СМ_3	Функционально-логическая макромодель	СМ_2	Агрегация
СМ_4	Дообучение	СМ_2	ТМО над грамматиками
СМ_5	Доизобретение	СМ_2	Изменение аксиоматики
СМ_6	Количественная макромодель	СМ_2	Декомпозиция
СМ_7	Адаптация на предметную область	СМ_2 и СМ_6	Замена сигнатуры и грамматики

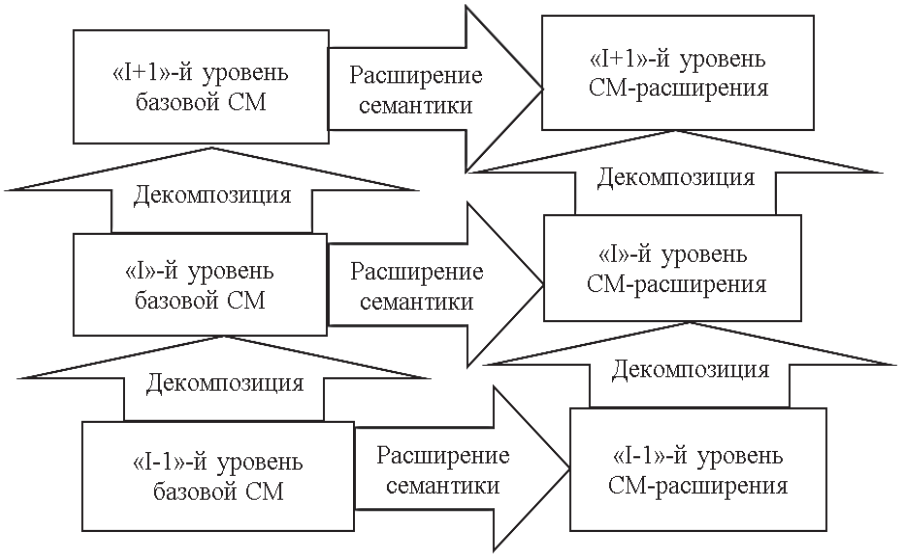


Рис. 1. Пример перехода между смежными семиотическими моделями по расширению семантики путем декомпозиции компонент на базе НЕ-факторов (СМ_1 → СМ_2, СМ_2 → СМ_6, ...)

Рис. 2. Общая структура метаэвристической оболочки

Рассмотрим иллюстрации к некоторым из перечисленных СМ.

4. СМ_1 — типы потенциалов данной предметной области

СМ стоится на базе следующих НЕ-факторов [5; 6], связанных с неполнотой всякой текущей системы знаний:

1) недоопределенность общих знаний, т. е. представление типовой сущности в комплексе общих знаний о мире как системы аппроксимаций или системы различных уровней огрубления понятий (тип *U*);

2) недоопределенность конкретных знаний, т. е. неполнота информации о фрагменте реальности в рамках фиксированной системы общих знаний (тип *N*);

3) неоднозначность, альтернативность знаний; как правило, предполагает наличие аппарата оценки правдоподобия имеющихся альтернативных утверждений (тип *A*).

Предлагаемая СМ потенциалов задает описание множества свойств и их значений как базовых элементов системы *T* (сигнатуры). Множество *T* должно обеспечить в СМ_2 представление понятий объекта, свойства, значения свойства, связи, структуры, элемента и функции [6]. СМ предполагает для различных типов недоопределенностей уровни: аппроксимации; неполноты информации об аппроксимациях; альтернативности знаний об аппроксимациях; альтернативности знаний об уровнях неполноты информации. Множество неопределенностей уровня аппроксимации задано на рисунке 3.

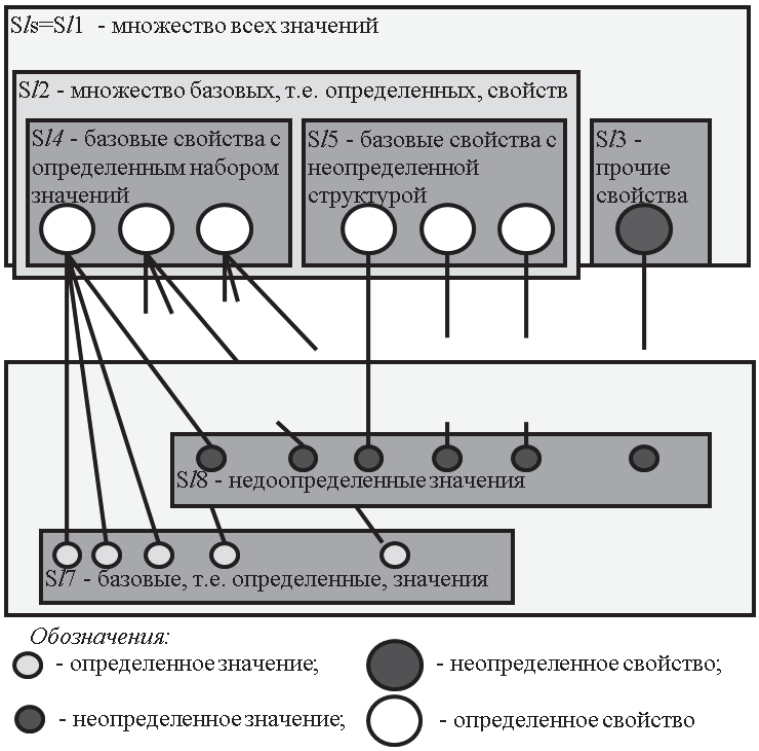


Рис. 3. Множество неопределенностей уровня аппроксимации СМ_1

5. СМ_2 — структурная модель и функционально-логическая микромодель

В данной модели [8] фактически описываются методы построения системы вложенных формальных проблемно-независимых языков спецификаций на базе физической семантики ПрОб с привлечением аппарата НЕ-факторов. СМ_2 включает шесть обязательных уровней: 1) исходной модели; 2) задания времени как блока и свойства; 3) значений свойства времени и моделей пространств; 4) пространственных точек и их идентификаторов; 5) «простых» свойств и внутренних функций блоков; 6) значений «простых» свойств и «кортежей» функций. Исходная модель предмета уровня 1 (рис. 4) включает блок с именем, но без внутренней структуры, имеющий единственное недоопределенное свойство без имени и структуры, единственную «круговую» связь, замыкающую блок сам на себя. Часть прочих уровней показана на рисунках 5—7.

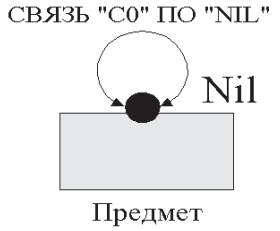


Рис. 4. Изначальное представление модели предмета в СМ_2

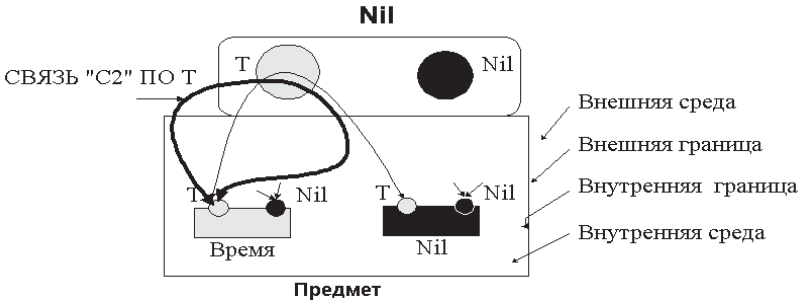


Рис. 5. Уровень ввода времени как свойства и блока в СМ_2

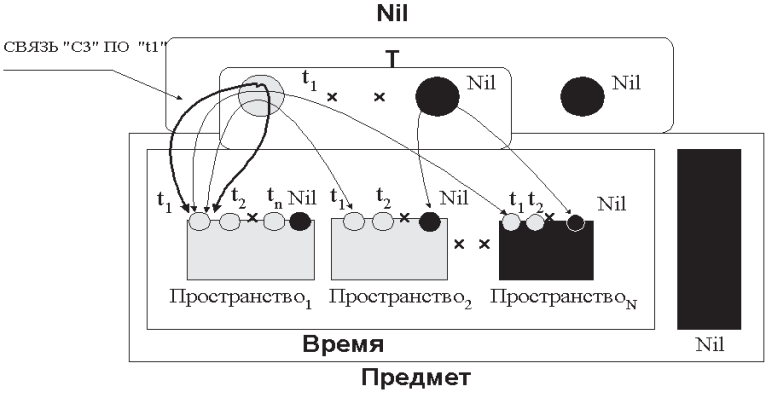


Рис. 6. Уровень определения моделей пространств в СМ_2

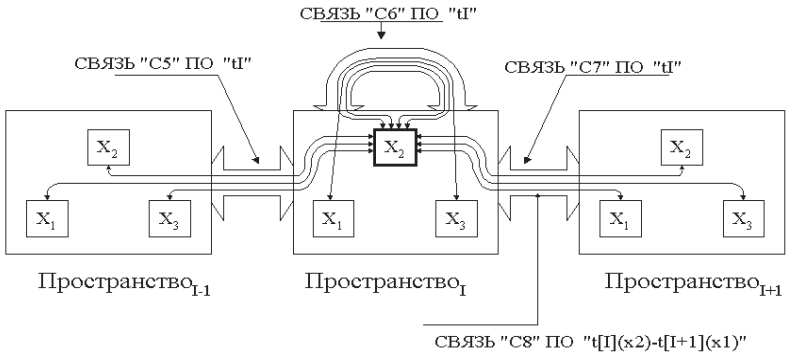


Рис. 7. Фрагмент совокупности связей пространственных точек — потенциалов в СМ_2

6. СМ_4 — дообучения, СМ_5 — изобретения и СМ_7 — адаптации

Комплекс средств СМ_4, СМ_5 и СМ_7 [9; 10] описан в таблице 3. Ограниченное число моделей сложных объектов предполагает необходимость автоматизации синтеза возможных решений с последующим выбором имеющих смысл решений с целью ускорить их ввод в базу знаний САПР.

Таблица 3

Структура комплекса средств построения семиотических моделей в рамках задачи «обучение-изобретение»

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Обучение МЭО по прототипам, накопленным в П САПР: — достижимость *r* по сигнатуре Т; — достижимость *b* по грамматике С; — достижимость *g* по аксиоматике А	Правила вывода П; процедуры П1, П2, П3, П4	Сигнатура Т; грамматика С; аксиоматика А	1. Интерфейс «П САПР — Интеллектуальная надстройка». 2. Обучение (дообучение) на базе ТМО
Поиск новых прототипов в имеющейся грамматике: достижимость по множеству семантически верных выражений *S* (нет аналога в «классической» СМ)	Сигнатура Т; грамматика С; правила вывода П; процедуры П1, П2, П3, П4	Множество семантически верных выражений *S*	3. Доизобретение, т. е. поиск новых семантически верных выражений в рамках множества синтаксически верных выражений С
Включение найденного нового подмножества прототипов в СМ: достижимость *g* по аксиоматике А	Сигнатура Т; грамматика С; правила вывода П; процедуры П1, П2, П3, П4	Аксиоматика А	4. Редактирование множества аксиом А с целью обеспечить включение найденного нового подмножества прототипов

Модель предлагаемого интерфейса «П САПР — Интеллектуальная надстройка» представлена следующим образом [10]:

$$M = \left(Go, Fo, Mo, So, Gs, Fs, Ms, Ss, Pos, Pso\right),$$

где *Go* — грамматики языков представления моделей в ИО; *Fo* — формат внутренних структур данных представления моделей в ИО; *Mo* — описания прототипов в данной ПрОб на языках ИО (знания экспертов, проекты); *So* — описания прототипов в данной ПрОб в формате внутренних структур данных МЭО; *Gs* — грамматики языков представления моделей в других инструментальных средствах проектирования сложных систем (САПР); *Fs* — внутренние структуры данных представления моделей других САПР в данной ПрОб; *Ms* — описания прототипов в данной ПрОб на языках прочих САПР (знания экспертов, проекты); *Ss* — описания прототипов в данной ПрОб в формате внутренних структур данных прочих САПР; *Pos* — процедуры отображения *Mo*, *So* в *Ms*, *Ss*; *Pso* — процедуры отображения *Ms*, *Ss* в *Mo*, *So*.

7. CM_6 — количественная макромодель

Рассмотрим пример формальной модели уровня данной СМ. На рисунке 8 показан состав связей некоторого базового блока H2 в составе жизненного цикла из трех пространств — моментов времени, реализующего данную модель с учетом ввода токов.

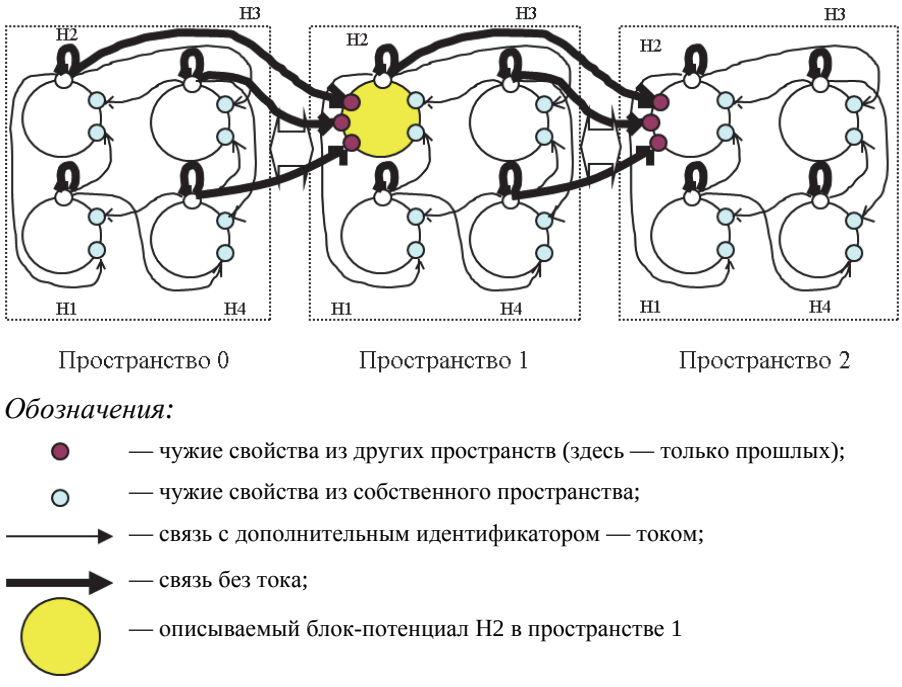


Рис. 8. Состав связей базового блока H2 в CM_6 на подуровне токов

Заключение

В работе изложены основные принципы предлагаемой КМ ПрОб, заданной как комплекс семиотических моделей с физической семантикой. Предложенная КМ позволяет выполнять адаптацию на специфику целевой ПрОб и служит основой инструментального комплекса построения баз знаний методик проектирования САПР.

Список литературы

1. *Норенков И.П.* Разработка систем автоматизации проектирования. М. : Изд-во МГТУ им. Э.Н. Баумана, 1994.

2. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986.

3. *Григорьев А.В.* Семиотическая модель базы знаний САПР // Научные труды Донецкого государственного университета. Сер. Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем. 1999. Вып. 10. С. 30—37.

4. *Григорьев А.В.* Состав параметров адаптации на проблемную область в инструментальной оболочке для автоматизации построения интеллектуальных САПР // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка (ІКОТ-2011). Вып. 14(185). Донецк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. С. 252—261.

5. *Нариньяни А.С.* Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Известия АН СРСР. Техническая кибернетика. 1986. № 5. С. 3—28.

6. *Григорьев А.В.* Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР // Искусственный интеллект. 1999. № 6. С. 56—66.

7. *Григорьев А.В.* Специфика выполнения теоретико-множественных операций над контекстно-свободными грамматиками в условиях различных форм дополнительных семантических правил в семиотической модели интеллектуальных САПР // Научные труды ДонНТУ. Сер. Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем (МАП — 2006). Вып. 5(116). Донецк : Изд-во ДонНТУ, 2006. С. 91—104.

8. *Григорьев А.В.* Комплекс моделей САПР как система взаимосвязанных уровней о действительности // Научные труды ДонНТУ. Сер. Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-2000). Вып. 10: Донецк : Изд-во ДонГТУ, 2000. С. 155—167.

9. *Григорьев А.В.* Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР // Информатика и кибернетика. 2015. № 1. С. 51—66.

10. *Григорьев А.В., Морозова О.В.* Анализ существующих способов создания интерфейса «Языки формальных спецификаций — проблемно-ориентированные языки» // Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка (ІКОТ-2011). Вып. 14(185). Донецк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. С. 270—275.

Г. Ю. Гуськов[1], А. М. Наместников[2], Н. Г. Ярушкина
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия
e-mail: [1]guskovgleb@gmail.com, [2]am.namestnikov@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТРИК ДЛЯ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РЕПОЗИТОРИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИХ СЕМАНТИЧЕСКОГО И СТРУКТУРНОГО СХОДСТВА

Введение

На крупных предприятиях, выпускающих программные продукты, чрезвычайно важно сохранить знания о предметной области среди сотрудников. Инструмент, позволяющий автоматизировать повторное использование уже реализованных проектов не на уровне функций и методов, а на уровне семантики и структуры проекта, представляется перспективным подходом. Общая предметная область проектов в разрезе технических решений позволяет производить заимствования на уровне семантики: общих моделей (объектов) и способов их взаимодействия. Рассматривается подход к определению структурного сходства между проектами. Приведены примеры их кластеризации по структурному принципу с учетом общей предметной области по решению эксперта. В работе предлагается модель и алгоритм расчета меры сходства, способы ее уточнения, что позволит выполнить нечеткую кластеризацию программных проектов в репозитории.

В программных репозиториях, как правило, доступен поиск только по ключевым словам. Поиск проектов производится по информации, которую программисты оставили в качестве описания к проекту. Проблема подобного подхода к поиску состоит в большой результирующей выборке, которая может составлять несколько тысяч единиц. Обработать выборку подобного размера вручную невозможно, но значительную часть проектов можно отсеять автоматически структурным анализом.

Для реализации описанного инструмента разработана онтология, сохраняющая знания о структуре программных проектов. Она основана на метасхеме UML — основного языка для проектирования программного обеспечения. Внутренняя структура, правила и примеры использования приведены в [1], модификация онтологии, позволяющая сохранять знания о шаблонах проектирования, представлена в [2]. Базовые структурные элементы диаграмм UML такие как класс, интерфейс, объекты и т. д., передают семантику проекта лишь отчасти. Гораздо больше знаний об архитектуре программного проекта можно извлечь, рассматривая комбинации базовых элементов. Устоявшиеся комбинации структурных элементов называются *шаблонами проектирования*. Они широко используются сообществом разработчиков.

Проведены исследования попыток интеграции онтологий с производством программного обеспечения на разных уровнях: технической документации [3—8], исходного кода [9] и UML диаграмм [10—14].

© Гуськов Г. Ю., Наместников А. М., Ярушкина Н. Г., 2018

1. Структура онтологии на основе метасхемы языка UML

Результаты, представленные в данной статье, основываются на проведенном ранее исследовании [1]. Для отбора структурно схожих проектов необходимо преобразовать знания о проекте из разных источников в единый формат. Разработанная система позволяет извлекать знания из концептуальных моделей и исходного кода проекта и сохранять их в унифицированном формате в виде OWL-онтологии. Знания об архитектурных решениях могут быть извлечены из программного продукта на каждом этапе его реализации из системы контроля версий, что позволяет выстраивать их в виде временных рядов для дальнейшей обработки, в том числе нечеткими методами анализа временных рядов [8; 15; 16].

Удобный формат для хранения знаний о программных проектах на данный момент — онтологии в формате OWL. Они способны полностью передавать семантику архитектурных решений программных проектов, позволяют вносить изменения в уже разработанные онтологии и осуществлять автоматический логический вывод по уже определенным выражениям.

Онтология, построенная на основе метасхемы языка UML, состоит из концептов, описывающих базовые элементы диаграммы классов, так как данный вид диаграмм наиболее распространен. Однако онтология может быть расширена новыми или уже существующими элементами в случае необходимости. Разработанная онтология формально представляется следующим образом:

$$O^{prj} = \left\langle C^{prj}, R^{prj}, F^{prj} \right\rangle,$$

где $C^{prj} = \left\{ c_1^{prj}, ..., c_i^{prj} \right\}$ — это множество концептов, определенное основными элементами диаграмм языка, такими как Class, Object, Interface, Relationship и т. д.; $R^{prj} = \left\{ r_1^{prj}, ..., r_i^{prj} \right\}$ — множество связей между концептами онтологии.

Данные отношения соответствуют правилам нотации UML. $F^{prj} = \left\{ f_1^{prj}, ..., f_i^{prj} \right\}$ — множество функций интерпретации, определяющих отношения R^{prj}.

Непосредственно диаграммы транслируются в онтологию в виде индивидуалов, соответствующих концептам с учетом семантики, заключающейся в их внутреннем устройстве, и в связях между ними. Семантика всей диаграммы формируется из семантики каждого входящего в нее элемента и семантики взаимодействия этих элементов.

2. Шаблоны проектирования как базовые архитектурные решения программных продуктов

Целесообразно использовать шаблоны проектирования для определения структурного подобия программных проектов, так как отдельные базовые элементы языка UML несут недостаточно семантической нагрузки. Шаблоны

проектирования также могут быть транслированы в разработанную онтологию в виде набора индивидуалов. Семантические ограничения и свойства шаблонов проектирования определяются с помощью ObjectProperties и DatatypeProperties построенной онтологии.

Онтологическое представление шаблона проектирования:

$$O_{tmp_i}^{prj} = \left\langle inst(C_1^{prj}),...,inst(r_1^{prj}),...,r_{sameAs} \right\rangle.$$

Онтограф онтологии шаблона проектирования Builder, построенный в редакторе Protégé, представлен на рисунке.

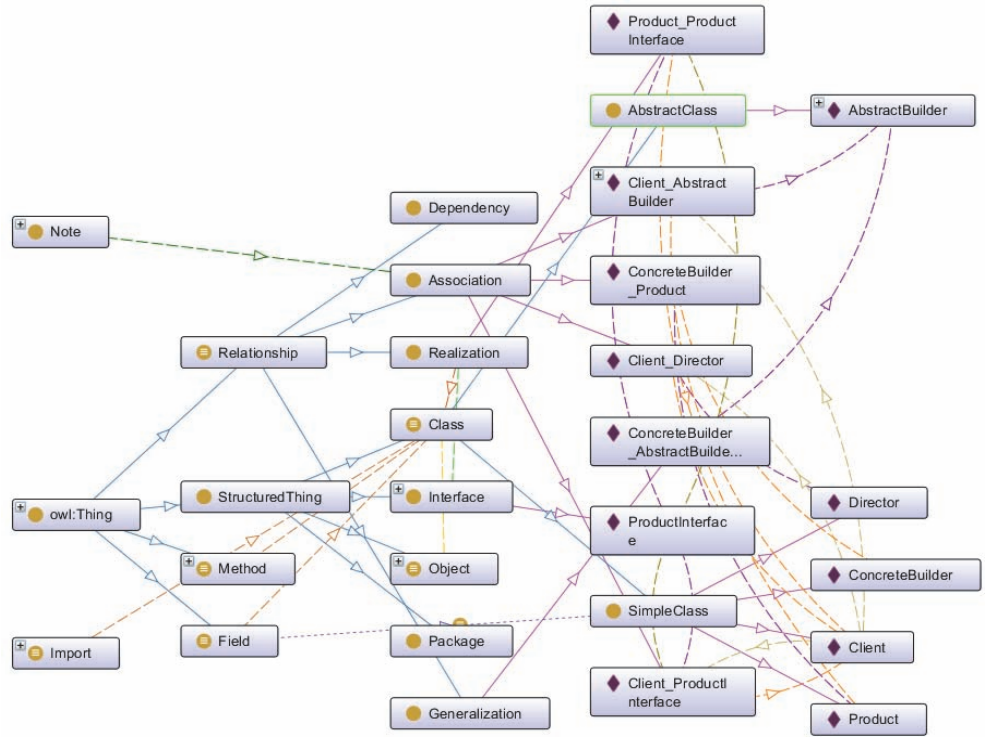


Рис. Онтологическое представление шаблона проектирования Builder в редакторе Protégé

Порождающий шаблон проектирования Builder может быть сохранен в формате онтологии в виде набора индивидуалов: Simple class — Builder_Client, Builder_Director, Builder_ConcreteBuilder, Builder_Product; Abstract class — Builder_AbstractBuilder; Association — Builder_Client_AbstractBuilder, Builder_Cient_Director, Builder_Client_IProduct, Builder_ConcreteBuilder_Product; Generalization — Builder_ConcreteBuilder_AbstractBuilder, Realization, Builder_Product_IProduct.

3. Мера выраженности шаблонов проектирования в программном продукте

Для вычисления структурной схожести проектов на основе онтологии была предложена метрика, рассчитываемая с помощью мер выраженности шаблонов проектирования в программном проекте:

$$\mu_{prj,tmp} = \left(Count(C_{prj} \cap C_{tmp}) + Count(R_{prj} \cap R_{tmp})\right)^{-1} Count(C_{tmp}) + Count(R_{tmp}),$$

где $\mu_{prj,tmp}$ — мера выраженности шаблона проектирования *tmp* в программном продукте *prj*; C_{prj}, C_{tmp} — экземпляр концепта онтологии программного проекта *prj* или шаблона проектирования *tmp*; R_{prj}, R_{tmp} — экземпляр отношения онтологии программного проекта *prj* или шаблона проектирования *tmp*.

Для вычисления архитектурного подобия между программными продуктами необходимо вычислить меру выраженности для каждого шаблона проектирования из составленного множества шаблонов.

Множество шаблонов составляется ведущими разработчиками предприятия и экспертами в предметной области. Они должны подбирать шаблоны, основываясь на принятом корпоративном стиле разработки.

4. Метрики подобия программных продуктов

После вычисления меры выраженности каждого отобранного шаблона проектирования в каждом из рассматриваемых программных продуктов становится возможным вычисление меры подобия между программными проектами по одной из трех метрик.

Первая метрика позволяет рассчитать меру подобия с помощью выделения наиболее выраженного шаблона проектирования в каждом из проектов:

$$\mu_{dc_\gamma, dc_\delta} = \bigcup_{tmp \in (dc_\gamma \cap dc_\delta)} \mu_{dc_\gamma \cap dc_\delta}(tmp), \quad (1)$$

где dc_γ, dc_δ — UML-диаграмма классов проекта, представленная в виде выражений A-box разработанной онтологии; $\mu_{dc_\gamma \cap dc_\delta}(tmp)$ — мера подобия проектов γ и δ.

Применение подобной метрики дает хорошие результаты для сравнительно небольшого количества сложных комбинированных шаблонов проектирования. Они основываются на предметной области и в меньшей мере соответствуют шаблонам в привычном понимании промышленного программирования.

Вторая метрика учитывает меру выраженности шаблонов, превышающую некоторое пороговое значение, рассчитанное экспериментально. Если мера выраженности шаблона ниже 0,3, можно сделать вывод об отсутствии в программном проекте данного шаблона, и следовательно, его необходимо исключить из рассмотрения:

$$\mu_{dc_\gamma, dc_\delta} = \frac{\bigcup\limits_{tmp \in (dc_\gamma \cap dc_\delta) \geq 0,3} \mu_{dc_\gamma \cap dc_\delta}(tmp)}{N}, \quad (2)$$

где N — число шаблонов проектирования с мерой выраженности выше 0,3 для каждого из проектов.

Третья предлагаемая в работе метрика схожа по семантике со второй метрикой, но накладывает дополнительное условие на учет вклада меры выраженности шаблона в меру архитектурного подобия проектов:

$$\mu_{dc_\gamma, dc_\delta} = \frac{\bigcup\limits_{tmp \in (dc_\gamma \cap dc_\delta) \geq 0,3} \tilde{\mu}_{dc_\gamma \cap dc_\delta}(tmp)}{N}, \quad (3)$$

где $\tilde{\mu}_{dc_\gamma \cap dc_\delta}$ — взвешенная мера выраженности шаблона в проекте.

Под взвешенной мерой выраженности шаблона в программном проекте понимается мера выраженности, нормализованная по максимальному числу элементов, входящих в состав шаблона проектирования. Данная модификация позволяет учитывать сложность внутреннего строения шаблона при вычислениях меры подобия программных проектов. Например, шаблон, состоящий из 20 элементов, полностью выраженный в каждом из сравниваемых программных продуктов, будет обладать в четыре раза большим весом, чем шаблон проектирования, состоящий из 5 элементов и также имеющий меру выраженности $\mu_{prj_2, tmp}$, равную единице.

5. Результаты экспериментов поиска структурно схожих программных проектов

Для определения меры структурного сходства двух проектов необходимо вычислить меру выраженности каждого шаблона проектирования в обоих проектах. Мера выраженности шаблона в проекте вычисляется наложением A-Box онтологии проекта на A-Box онтологии шаблона. В таблице 1 представлена степень выраженности каждого рассматриваемого шаблона во всех проектах экспериментальной выборки.

Таблица 1

Выраженность шаблонов проектирования в проектах

Project name / Design pattern name	Delegator	Adapter	Builder	Abstract superclass	Interface
Android-MVP	1	0,875	0,83	1,0	1,0
Cordova-social-vk	1	0,875	0,83	1,0	0,8
Cvk	1	0,875	0,83	1,0	0,8
DroidFM	1	0,875	0,92	1,0	1,0
VK-Small-API	1	0,625	0,42	0,33	0,6
VKontakteAPI	1	0,875	0,83	1,0	0,8
VK_TEST	1	0,75	0,58	0,66	0,6

Результаты вычисления структурной схожести между двумя проектами с помощью трех метрик представлены в таблице 2, в каждой ячейке которой на пересечении двух проектов указываются три значения по трем метрикам (1), (2), (3) соответственно.

Таблица 2

Результаты вычисления структурной сложности по трем предложенным метрикам

First project/ Second project	Android-MVP	Cordova-social-vk	Cvk	DroidFM	VK-Small-API	VKontakte API	VKontakte
Android-MVP	—	1 0,96 0,96	1 0,96 0,96	1 0,98 0,96	1 0,78 0,64	1 0,96 0,96	1 0,78 0,77
Cordova-social-vk	1 0,96 0,96	—	1 1 1	1 0,94 0,93	1 0,85 0,67	1 1 1	1 0,83 0,80
Cvk	1 0,96 0,97	1 1 0,99	—	1 0,94 0,93	1 0,85 0,67	1 1 1	1 0,83 0,80
DroidFM	1 0,98 0,97	1 0,94 0,93	1 0,94 0,93	—	1 0,78 0,61	1 0,94 0,93	1 0,78 0,74
VK-Small-API	1 0,78 0,64	1 0,85 0,67	1 0,85 0,68	1 0,78 0,61	—	1 0,85 0,67	1 0,96 0,87
VKontakte API	1 0,96 0,97	1 1 1	1 1 1	1 0,94 0,93	1 0,85 0,67	—	1 0,83 0,80
VK_TEST	1 0,79 0,77	1 0,83 0,80	1 0,83 0,80	1 0,78 0,74	1 0,95 0,87	1 0,83 0,80	—

Оценки, полученные в ходе экспериментов, нормализированы от нуля до единицы и имеют очень высокие значения, близкие к единице. Такие высокие значения оценок легко объяснить. Первая метрика принимает в качестве оценки структурной схожести самую высокую меру выраженности одного шаблона проектирования, что приводит к результату, равному единице, в случае, если в наборе шаблонов находится хотя бы один простой шаблон с малым количеством структурных элементов, например шаблон проектирования Abstract superclass, состоящий из следующих элементов: interface, delegator и связи generalization между ними.

Результаты экспериментов по второй и третьей метрикам также довольно высоки. Это можно объяснить тем, что шаблоны проектирования со степенью выраженности менее 0,3 исключаются из рассмотрения как недостаточно выраженные в данных проектах. Все проекты отобраны из открытого репозитория исходного кода Github по ключевым словам «Public API» и «VKontakte» для того, чтобы увеличить вероятность нахождения проектов, схожих структурно.

Заключение

Представленная работа — задел для будущих исследований, среди которых: количественное и качественное расширение выборки программных проектов; расширение множества шаблонов проектирования; создание специфических шаблонов проектирования для предметных областей; построение временных рядов по полученной информации для последующего анализа.

Онтологии, полученные в ходе работы системы, могут быть отдельно модифицированы редактором Protege. Расширение функций системы за счет добавления знаний о предметной области в форме онтологии может существенно увеличить точность получаемых результатов

Исследование поддержано грантом РФФИ № 17-07-00973 «Исследование моделей и методов нечетких онтологий в задачах анализа программно-аппаратных комплексов».

Список литературы

1. *Guskov G.U., Namestnikov A.M.* Ontological Mapping for Conceptual Models of Software System // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2017). Minsk : BSUIR, 2017. P. 111—116.

2. *Guskov G.U., Namestnikov A.M.* Approach to determining the structural similarity of software projects // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2018). Minsk : BSUIR, 2018 (в печати).

3. *Namestnikov A.M, Filippov A.A., Avvakumova V.S.* An ontology based model of technical documentation fuzzy structuring // CEUR Workshop Proceedings. SCAKD 2016. Moscow. Russian Federation. M., 2016. Vol. 1687. P. 63—74.

4. *Goy A., Magro D.* Towards an ontology-based software documentation management — a case study // KMIS / eds. L. Kecheng, F. Joaquim. SciTePress, 2012. P. 125—131.

5. *Koukias A., Kiritsis D.* Rule-based mechanism to optimize asset management using a technical documentation ontology // IFAC-PapersOnLine. 2015. Vol. 48(3). P. 1001—1006.

6. *Загорулько Ю.А., Ахмадеева И.Р., Серый А.С., Шестаков В.К.* Построение тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов средствами Semantic Web // Труды 15-й Национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2016. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 2. С. 47—55.

7. *Гуськов Г.Ю., Наместников А.М.* Программная система преобразования UML-диаграмм в онтологии языке OWL // Труды 15-й Национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2016. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 2. С. 270—278.

8. *Филиппов А.А., Мошкин В.С., Шалаев Д.О., Ярушкина Н.Г.* Единая онтологическая платформа интеллектуального анализа данных // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016) : матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. Минск : Изд-во БГУИР, 2016. С. 77—82.

9. *Hossein S., Sartipi K.* Dynamic analysis of software systems using execution pattern mining // ICPC. IEEE Computer Society, 2006. P. 84—88.

10. *Ma Z., Zhang F., Yan L., Cheng J.* Representing and reasoning on fuzzy UML models: A description logic approach // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38(3). P. 2536—2549.

11. *Zedlitz J., Jorke J., Luttenberger N.* From UML to OWL 2 // Knowledge Technology. Communications in Computer and Information Science. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2012. Vol. 295. P. 154—163.

12. *Almeida Ferreira D., Silva A.* UML to OWL Mapping Overview An analysis of the translation process and supporting tools // Conference: 7th Conference of Portuguese Association of Information Systems. Lisbon, 2007.

13. *Bobillo F., Straccia U.* Representing Fuzzy Ontologies in OWL 2 // WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence July, 18—23, 2010. Barcelona : CCIB, 2010. P. 2695—2700.

14. *Дородных Н.О., Юрин А.Ю.* Использование диаграмм классов UML для формирования продукционных баз знаний // Программная инженерия. 2015. Т. 4. С. 3—9.

15. *Ярушкина Н.Г.* Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой // Научная сессия МИФИ-2004 : лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2004. С. 151—197.

16. *Ярушкина Н.Г.* Современный интеллектуальный анализ нечетких временных рядов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте V Междунар. науч.-практ. конф. : сб. науч. тр. : в 2 т. М. : Физматлит, 2009. Т. 1. С. 19—29.

А.В. Мышев

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ — Обнинский институт атомной энергетики, Обнинск, Россия

e-mail: mishev@iate.obninsk.ru

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОСЕТИ НЕЙРОНА

Введение

Известные разновидности потоковых вычислительных систем (ВС), основанные на модели «чистого потока данных», — статистические ВС и динамические ВС [1]. Общие принципы организации вычислительных процессов в таких ВС направлены на достижение высокой степени параллелизма и обеспечение высокого коэффициента загрузки аппаратных средств — основных факторов эффективности ВС как по ряду технических и алгоритмических характеристик, так и в целом. Разработка и реализация вычислительных процессов для технологий имитационного моделирования различных задач и обработка информации в таких системах на основе моделей последовательных и параллельных алгоритмов осуществляется на вычислениях, которые выполняются посредством строгой логической схемы последовательности дискретных шагов, включая точные данные (точность определяется количеством значащих цифр или символов). Даже при таких строгих допущениях ошибки лишь в единственном бите в последовательности операндов или в

© Мышев А.В., 2018

данных часто делает результат вычисления бесполезным или размытым. Усилия, направленные на устранение или минимизацию таких ошибок средствами аппаратного и программного обеспечения, в основном связаны с решением дилеммы: точность вычислительной системы и успешность предотвращения неустойчивого исполнения, обусловленные такой точностью, которые являются ключевыми величинами в традиционной вычислительной индустрии. Точность и надежность в традиционных последовательных и параллельных вычислительных системах очень далеки от надежной организации вычислительных процессов, синтеза и обработки информации в интеллектуальных живых системах. Остается открытым вопрос о выборе критериев оценки эффективности и надежности алгоритмов, а также и многие другие.

Традиционные потоковые вычислительные системы и вычислительные системы для решения потоковых задач функционально являются системами, обладающими высокой вычислительной эффективностью как по техническим характеристикам, так и по алгоритмическому обеспечению. Эффективность достигается в этом случае за счет высокой степени возможного параллелизма аппаратного взаимодействия элементов системы и методологии синтеза параллельных схем и алгоритмов вычислительных процессов. Интеллектуальные возможности и интеллектуальная эффективность таких вычислительных систем как интеллектуального инструмента в технологиях организации вычислительных процессов, имитационного моделирования и обработки информации с целью достижения точных и устойчивых результатов, когда диффузия информации локализована в пространственно-временных масштабах, не рассматривались и не исследовались. Также открытыми остаются вопросы разработки информационных моделей потоковых вычислений в условиях модельной и алгоритмической замкнутости, обмена информацией, ограничений среды вычислений и информационной неопределенности.

В основе причин, порождающих ошибки, обусловленные ключевыми величинами (точность и неустойчивость) вычислительных процессов, лежит тот факт, что традиционно практикуемые технологии последовательных и потоковых вычислений весьма неустойчивы. Эта неустойчивость во многом вызвана тем, что технологии вычислительных процессов потоковых и скалярных вычислений реализуются без учета информационной динамики объектов среды вычислений, которая определяет событийность пространственно-временных и информационных условий контролируемости вычислительных процессов. В настоящее время достоверно неизвестно, как представляются, хранятся и обрабатываются данные в живых интеллектуальных системах обработки информации, как в них организованы вычислительные механизмы и многие другие вычислительные аспекты, в том числе свойства реконфигурируемости таких систем в нетипичных и нетривиальных ситуациях. Тем не менее можно с высокой степенью достоверности утверждать, что, с одной стороны, живые интеллектуальные системы обработки информации реализуют свои функции,

включая вычислительные, в условиях замкнутости, ограничений, обмена (энергией и информацией) и неопределенности; а с другой — эти системы обладают механизмом реконфигурируемости, в математическом и логическом аспекте проявляющейся в том, что алгоритмические схемы их функциональных, интеллектуальных и вычислительных возможностей обработки информации в нетипичных ситуациях-условиях изменяются под сетевую модель функционирования системы в этой ситуации, т.е. в этом проявляются нетипичные свойства принципа доминанты. Обозначенные условия функционирования живых систем характерны и для потоковых вычислительных систем, которые в настоящее время не реализованы и не описаны ни в одной модели известных вычислительных систем (реальных и абстрактных).

Поэтому проблема расширения функциональных и интеллектуальных возможностей вычислительных систем нового поколения, повышение надежности их информационной работоспособности в условиях замкнутости, ограничений, обмена и неопределенности, обеспечение возможности создания сверхсложных интеллектуальных информационных виртуальных нейросетей, возможность реализации динамически расширяемой архитектуры виртуальной вычислительной системы, повышение информационной достоверности результатов вычислений и обработки данных, гибкость и реконфигурируемость является не только фундаментальной и актуальной в обозначенной области, но и требует решения новых научных и технических задач.

1. Нейросетевая модель архитектуры реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы

Информационная модель нейросети (см. рис.) — как математический и логический прототип—шаблон интеллектуальной реконфигурируемой вычислительной системы — имеет важные вычислительные и информационные свойства механизмов вычислительных процессов и позволяет их определить и описать с учетом математических, динамических, информационных и метрологических аспектов, которые не являются очевидными и поддерживают новую парадигму вычислений и осуществления нетрадиционных форм компьютинга с учетом информационной динамики объектов среды вычислений [2; 3].

Эта парадигма обладает новыми вычислительными преимуществами на основе нетрадиционных принципов разработки и реализации различных форм компьютинга, которые позволяют осуществить синтез влияния механизмов параллелизма, виртуализации и интеллектуализации на информационную динамику объектов среды вычислений. А ее математический и логический аппарат раскрывает архитектуру (структуру) реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы, которая позволяет реализовать эту новую парадигму вычислительного интеллекта и осуществить доступ к этим новым интеллектуальным вычислительным возможностям. Обозначенные цели достигаются следующим образом.

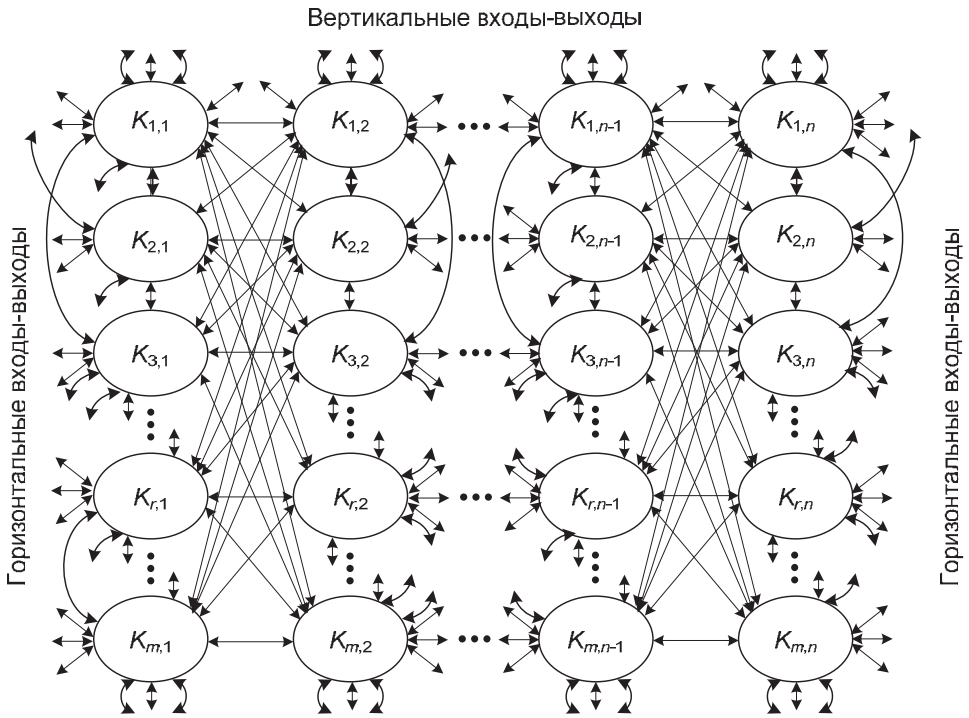


Рис. Информационная модель нейросети
как математический и логический прототип-шаблон архитектуры
реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы

Во-первых, на основе способа построения реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы, согласно которому процессорные модули и модули памяти такой системы логически, функционально и информационно взаимодействуют между собой по тем же принципам, что и нейроны в сетевой информационной модели нейросети. Этот способ определяет ее организацию и реализацию в виде многослойной модульной системы потоковой параллельной обработки данных. В системе имеется несколько слоев, включая слой процессорных элементов (ПЭ), слой многоуровневой виртуальной оперативной памяти для каждого модуля процессорного слоя и слой общей активной виртуальной памяти для всего процессорного слоя. Причем процессорный слой разбивается на виртуальные процессорные модули, а слой общей активной виртуальной памяти — на виртуальные модули памяти. Процессорные модули имеют сетевую организацию информационных связей и выполняют функции интерфейса как между элементами слоев, так и с внешней средой. Особенности предлагаемого способа: инициализация вычислительной системы, маршрутизация информации в системе, конфигурация архитектуры под структуру информационного графа решаемой задачи, восстановление результатов вычислительного процесса при отказе всей си-

стемы, отдельных слоев, модулей или элементов. При этом модули слоя виртуальной оперативной памяти выполняют функции хранения атрибутов модулей, команд, локальной системы координат информационной привязки и поверки результатов (промежуточных и конечных) вычислительных процессов в среде вычислений. Модули общей активной виртуальной памяти функционально и логически предназначены для хранения глобальной информационной системы координат проверки, поверки и отражения на ней результатов вычислительного процесса на каждом его шаге, а также выполняют буферные функции в операциях тайлинга между модулями слоев, функции виртуальных портов и информационных шлюзов с внешним миром.

Согласно обозначенному способу процессорные модули логически и функционально объединяются и конфигурируются в виртуальную вычислительную структуру с геометрией и топологией связей сетевой информационной модели нейросети и каждый процессорный модуль функционирует в соответствующей ему области информационного пространства координатной системы привязки и поверки результатов. Это обеспечивает высокую надежность вычислительной системы и достоверность получаемых результатов. Базовые и образующие элементы модулей виртуальной оперативной памяти и общей виртуальной активной памяти — активные и пассивные виртуальные ячейки. Логические и арифметические операции в процессорных модулях реализуются по следующим принципам компьютинга: взаимодействия операндов среды вычислений с информационной виртуальной средой; виртуальной перспективы в операторе проектирования, связанности результатов вычислений — фрактальной и информационной.

Во-вторых, с помощью структуры реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы, реализующей новую парадигму вычислительного интеллекта на основе сетевой информационной модели нейросети. Сетевая информационная модель нейросети, с одной стороны, описывает структуру (архитектуру) виртуальной потоковой вычислительной системы в виде глобальной виртуальной информационной динамической сети, в которой характер взаимодействия между элементами на уровнях управления и обмена информацией определяется как процессы с локальным взаимодействием. А с другой — элемент такой сети, формальный нейрон, определяется как локальная виртуальная вычислительная система, объединяющая ресурсы процессорных элементов и памяти реальной физической вычислительной системы с жесткой или реконфигурируемой архитектурой, логическая и физическая функции которой заключаются в следующем:

1) это локальная виртуальная вычислительная сеть, которая определяет и задает в физической среде реальной потоковой ВС вычислительный сервер-домен, т. е. пространство виртуальных адресов-идентификаторов для ее процессорных элементов и соответствующих им сегментов активной памяти;

2) виртуальный вычислительный сервер-домен не только задает область информационного определения в пространстве виртуальных адресов его ак-

тивной памяти — его домен, но и определяет в информационных границах адресного пространства домена памяти общую числовую шкалу для вычислительного процесса и цену деления шкалы (числовая точность) — его диапазон.

Элементы активной памяти — виртуальные ячейки различных типов, различающиеся по функциональному признаку, логической организации и информационному наполнению.

Нейрон в обозначенной архитектуре (структуре) глобальной виртуальной потоковой вычислительной системы (ВПВС) определяется как образующий ее компонент, предназначение и функция которого состоят в следующем:

1) для потоковой параллельной задачи реализует ее выполнение в заданной области возможных значений и фиксированного кванта физического времени;

2) реализация статистической синхронизации вычислительного процесса в нейросети в пределах выделенного кванта реального времени.

Нейроны объединяются в виртуальную вычислительную структуру, поддерживающую вычислительный процесс с динамически изменяемой популяцией активных нейронов в фиксированный и конкретный квант физического времени. Активные нейроны могут реализовывать различные вычислительные процессы в пределах конкретного кванта физического времени, если взаимодействие между ними параметризовано алгоритмом задачи и средой вычислений.

В области активной памяти нейрона задается локальный сегмент (только в режиме чтения), в котором хранится система координат информационной привязки и поверки для результатов вычислений (конечных и промежуточных), отягощенных различного рода ошибками и информационной диффузией в вычислительных технологиях. Геометрическая интерпретация такой системы состоит в том, что она является базовой информационной координатной решеткой, где отражается динамика информационных процессов среды вычислений. Узлы такой решетки в широком смысле — образное и символическое отражение геометрических и информационных свойств динамики процессов среды вычислений. Информационная сущность геометрии узлов на решетке определяет ее как сегмент памяти виртуальных пассивных ячеек фиксированной длины и с неизменяемой в них информацией, т. е. это сегмент констант в виде символьных цепочек. Такой сегмент задает область определения отображения результатов вычислительного процесса в информационном пространстве активной виртуальной памяти среды вычислений — их домен и область значений — диапазон. Введение подобной логической схемы организации памяти и вычислительного процесса определяет вычислительные системы с такой архитектурой как реконфигурируемые виртуальные потоковые вычислительные системы с переменными доменами-диапазонами. Если результаты вычислительного процесса в среде вычислений нейрона выходят за границы диапазона, то происходит взаимодействие с соседним нейроном, в информационный диапазон которого они попадают (виртуальная реконфигурация).

Вычислительные процессы в обозначенных системах квантуются по физическому времени. Длительность квантов может быть произвольной и определяется условиями статистической синхронизации и вычислительного процесса. В каждый квант физического времени количество активных нейронов определяется результатом вычислений, выполненных в предыдущий квант, и условиями задачи.

Виртуальные ячейки активной памяти нейрона, которые не принадлежат системе координат информационной привязки и поверки, — активные ячейки переменной длины с динамически изменяемой информацией в них, т. е. рабочие виртуальные ячейки. Процесс взаимодействия символьных цепочек, хранящихся в пассивных и активных виртуальных ячейках, определяется как информационный процесс с локальным взаимодействием. Любая операция между ячейками разных типов задается в виде двух операндов — взаимодействия и проектирования. Первый шаг при выполнении операции — реализация процедуры информационного выравнивания символьных цепочек разной длины, что определяет как взаимодействие со средой. Далее реализуется операция взаимодействия между символьными цепочками и формируется результат, который проектируется в узел базовой координатной решетки. Смысл операции проектирования состоит в следующем. Если информационное расстояние между символьной цепочкой результата операции и узлом решетки меньше информационной окрестности узла, то результат находится в этом узле.

Структура реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы, основанной на информационных моделях формальной нейросети и нейрона, в качестве физической платформы может иметь типичную потоковую вычислительную систему (например, транспьютер и др.) или мультиконвейерную вычислительную систему (с жесткой или реконфигурируемой архитектурой) [4], состоит из процессорных элементов и блока многоуровневой виртуальной активной памяти. Такие виртуальные вычислительные системы поддерживают три фазы виртуализации — виртуальные пространство, изображение и среда вычислений.

Практические следствия использования сетевой информационной модели нейросети и нейрона в технологиях вычислительного интеллекта и новых формах осуществления компьютинга означают, что многие долгое время недостижимые и неизвестные свойства и когнитивные возможности интеллектуальных вычислительных систем обработки и анализа информации в условиях замкнутости, ограничений, обмена и неопределенности становятся доступными уже в готовом виде. Эти свойства и когнитивные возможности обозначенных систем включают в себя способность — подобно живым информационным системам — создания новых форм интеллектуальных потоковых виртуальных параллельных вычислений, новых форм надежности их работоспособности в условиях замкнутости, ограничений, обмена и неопределенности и нового класса компьютерных реконфигурируемых вычислительных систем.

Заключение

Изложенный подход построения архитектур потоковых виртуальных вычислительных систем на основе информационной модели нейросети и нейрона на уровне сетевых моделей и алгоритмов позволяет реализовать архитектуры реконфигурируемых вычислительных систем нового поколения, в которых среда вычислений и информационные процессы логически и функционально организованы, на базе следующих сформулированных принципов компьютинга:

1) принцип взаимодействия объектов (символьные цепочки) среды вычислений с информационной виртуальной средой;

2) принцип виртуальной перспективы в операторе проектирования;

3) принцип связанности результатов вычислений.

Методология теории построения информационных моделей нейросети и теория динамики информационного взаимодействия в ней на логическом и математическом уровне описывает и раскрывает практическую сущность обозначенных потоковых виртуальных вычислительных систем как систем нового поколения [2—5]. Введение новых сущностей-объектов: информационная модель нейросети и нейрона, модель активной виртуальной памяти, пассивные и активные виртуальные ячейки памяти, многослойная модульная схема реализации реконфигурируемой виртуальной потоковой вычислительной системы, процессы с локальным информационным взаимодействием, операторы взаимодействия и проектирования, информационная система координат среды вычислений и других — значительно расширяет онтологию предметной области вычислительных систем. Каждая из этих сущностей-объектов — архитектура или ее элемент для системы, которая может быть определена в широком смысле как виртуальная потоковая вычислительная система, основанная на информационной модели нейросети и нейрона, — объект настоящего и будущих исследований.

Список литературы

1. *Барский А.Б., Шилов В.В.* Потоковая вычислительная система: программирование и оценка эффективности // Информационные технологии. 2003. № 7. Прил. С. 23.

2. *Мышев А.В.* Информационная модель нейросети в технологиях вычислительного интеллекта и формах реализации компьютинга // Информационные технологии. 2012. № 1. С. 63—70.

3. *Мышев А.В.* Динамика информационных процессов в вычислительных технологиях компьютерного моделирования // Труды ИСА РАН. 2010. Т. 58. С. 137—148.

4. *Каляев И.А., Левин И.И.* Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные системы для решения потоковых задач // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 2. С. 12—22.

5. *Мышев А.В.* Метод виртуальной перспективы в моделировании размытых задач // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. № 3. С. 65—78.

А.В. Павлов
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: Pavlov@phoi.ifmo.ru

К ВОПРОСУ КЛАССИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ КВАНТОВО-ПОДОБНЫХ КОГНИТИВНЫХ ФЕНОМЕНОВ: ФЕНОМЕН «ЛИНДА»

Введение

В последние годы большое внимание привлекают аналогии на уровне математических моделей между рядом когнитивных и квантово-механических феноменов. На основе формальных аналогий возникли такие направления, как *квантовая когнитивистика* и *квантовая социология*. Здесь важно, что, как и в самой квантовой физике, используемый математический формализм не отвечает на вопросы о причинах и механизмах описываемых феноменов, оставляя простор для их поиска, т. е. поиска интерпретации.

В 1983 г. A. Tversky и D. Kahneman ввели в научный оборот феномен «Линда» [1], адекватно описываемый «неколмогоровской», или квантовой, вероятностью [2—5]. Суть данного феномена в том, что испытуемым рассказывали о женщине по имени Линда. Рассказ строился так, чтобы явно представить ее активной феминисткой и затушевать то, что ее образование соответствует работе в банке. Затем задавался вопрос о том, кем является Линда: 1) феминисткой (F); 2) кассиром в банке (T); 3) феминисткой, работающей кассиром в банке ($F\&T$).

Ответ 3 формально описывается как конъюнкция вариантов 1 и 2 и, по классической теории вероятности [6], его вероятность должна быть ниже, чем вероятность ответов 1 и 2 по отдельности. Но в результате экспериментов вероятности выстроились следующим образом: $P(F) > P(F\&T) > P(T)$.

Порядок $P(F\&T) > P(T)$, рассматриваемый в рамках классического подхода как грубая ошибка для несовместных событий, правомочен в квантовой физике, что дало основания для применения квантовой логики к описанию когнитивных процессов. При этом нерешенность вопроса интерпретации квантовой физики [7] и тут породила широкий спектр интерпретаций [8].

Применительно к упомянутому феномену «Линда» аналогии с квантовой физикой ограничиваются некоммутативностью операторов проектирования, описывающих в квантовой логике логический вывод. В свою очередь некоммутативность проекторов отражает недистрибутивность решетки [9]. Но некоммутативность еще не «квантовость», а какой-либо иной «квантовости» здесь, на наш взгляд, более нет. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть возможности реализации данного феномена без привлечения квантовых механизмов. В данном докладе показано, что феномен «Линда» может быть получен классическими методами волновой физики — голографии Фурье, порождающей алгебру фурье-дуальных операций [10].

© Павлов А.В., 2018

1. Подход к задаче

Согласно правилу Борна, в квантовой физике вероятность события B_x, например нахождения частицы в точке (x,y), задается формулой

$$P_{\psi}\left(B_{x,y}\right)=\psi\left(x,y\right)\psi^{*}\left(x,y\right), \quad (1)$$

где ψ — волновая функция частицы или амплитуда вероятности [11], астериск — символ комплексного сопряжения.

Выражение (1) формально аналогично определению интенсивности, используемому в волновой физике, где волновая функция $\psi(x,y)$ описывает реальное поле комплексных амплитуд. Это позволяет использовать интенсивность волны или волнового поля, измеряемую приемником, как аналог вероятности в модели исследуемого феномена.

В 1906 г. А. Гольдшайдер предложил подход к исследованию механизмов памяти и внимания через анализ взаимодействия волновых фронтов, формирующихся в кортикальной области мозга при восприятии сенсорных стимулов и вспоминании [12]. Позже этот подход был развит в голографическую парадигму работы мозга. Таким образом, отдавая себе отчет в различной физической природе волновых процессов мышления и классической волновой физики, правомочно использовать формальный и экспериментальный аппарат последней для описания и моделирования когнитивных процессов.

Связь между формально-логическими методами, используемыми в искусственном интеллекте, и волновой физикой дает алгебра фурье-дуальных операций [10], отвечающая критерию биологической мотивированности [13].

Здесь необходимо обратить внимание на цикл работ M. Peruš [14—17], в которых на основе аналогий между нейросетями (НС), квантовой физикой и голографией развито направление *квантовой голографии* и показана реализация ряда НС-моделей, в частности ассоциативной памяти (АП). Но рассуждения выходят за рамки концепции АП: память — восстановление эталонного образа, в квантовых терминах — коллапс волновой функции к собственному значению, а рассуждения — модификация эталона, или коллапс к собственному значению, отличному от заданного при обучении.

По условиям задачи (эксперимента [1]) обучение (рассказ) проводилось так, что ярко рассказывалось о тех фактах биографии Линды, что могли создать устойчивое впечатление о ней как феминистке, и лишь вскользь упоминались те, что могли подтолкнуть к мысли о ее работе кассиром. В квантовой логике логический вывод представлен оператором проектирования. Но несовместность «Феминистка» и «Кассир» не позволяет представить вывод общим проектированием на оба подпространства. В [18] рассуждение как конъюнкция (F&T) представлено в виде последовательных проекций вектора состояния **L** (Линда) (рис. 1 [4]): вначале на более вероятное подпространство «Феминистка» (F), а уже затем на «Кассир» (T). Рисунок 1 иллюстрирует результат некоммутативности операторов в квантовой логике: вероятность то-

го, что Линда — кассир, выше, если вначале признано, что она феминистка; и наоборот: если вначале признано, что Линда — кассир, то и вероятность этого ответа ниже, ниже и вероятность того, что она еще и феминистка.

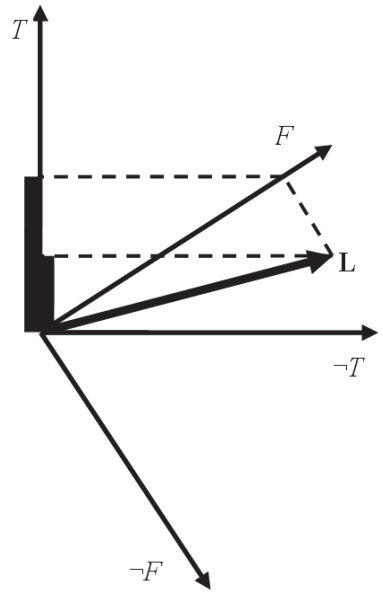


Рис. 1. Схема конъюнкции как последовательных проектирований вектора **L** на подпространства *F* и *T*

Рассмотрим возможность реализации такой схемы рассуждений в рамках биологически мотивированного подхода, реализуемого методом голографии Фурье — нейросетевого (НС). Каждый из трех образов: Линда (*L*), феминистка (*F*) и кассир (*T*) представим соответствующими нейронными ансамблями (НА), описываемыми векторами их состояний **L**, **F** и **T**. Обратим внимание на существенную особенность схемы рассуждений как последовательных проекций [18] — хотя НА **L** при обучении независимо связан и с **F**, и с **T**, как это изображено на рисунке 2, *а*, но некоммутативность проекторов обусловливает то, что возбуждение последних НА должно происходить последовательно: вначале **L** должен возбудить **F**, а затем **F** возбудить **T**. Поэтому схема работы обученной НС в случае реализации концепции [18] должна быть представлена в виде, показанном на рисунке 2, *б*, хотя при обучении формируется структура, как на рисунке 2, *а*, а показанная дугой связь **F** и **T** в процедуре обучения непосредственно не задается — сеть должна сформировать ее сама.

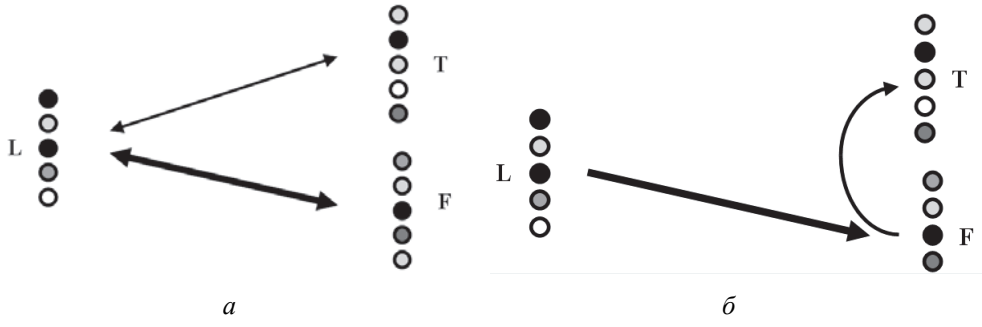


Рис. 2. НС-модель феномена «Линда»:
а — этап обучения; *б* — этап конъюнкции:
толщина линий между НА **L**, **F** и **T** соответствует силе связей, заданных при обучении

Таким образом, необходимо найти реальный механизм, позволяющий совместить схемы обучения (рис. 2, *а*) и работы (рис. 2, *б*) в плане самостоятельного формирования сетью связи **F** и **T**. При этом искомый механизм не должен исключать традиционного механизма параллельного проектирования на оба подпространства, соответствующего выводу по схеме (рис. 2, *а*).

Одно из возможных направлений поиска определяется тем, что веса межнейронных связей регистрируются материальными структурами: синаптическими контактами и нейроглиальными клетками, далее будем называть их регистрирующими средами (РС). Зависимость зарегистрированного веса от силы возбуждения связываемых нейронов, которую будем называть экспозиционной характеристикой (ЭХ), всегда нелинейна. Поэтому имеет смысл провести поиск, рассмотрев эффекты, обусловленные нелинейностью ЭХ РС.

2. Модель

В биологической мотивированной алгебре фурье-дуальных операций веса межнейронных связей формируются в пространстве Фурье в точном соответствии с правилом Хебба и затем регистрируются; зарегистрированные веса связей могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} H_{LF}\left(\nu_x,\nu_y\right) &= \eta\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(F\left(x,y\right)\right)\right] \\ H_{LT}\left(\nu_x,\nu_y\right) &= \eta\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(T\left(x,y\right)\right)\right] \end{aligned}, \qquad (2)$$

где η — оператор ЭХ РС; $\mathcal{F}$ — символ преобразования Фурье; $L\left(x,y\right)$; $F\left(x,y\right)$; $T\left(x,y\right)$ — НА как функции двух координат, представляющие соответствующие образы.

В работе [19] показано, что если ЭХ РС может быть представлена в виде ряда, включающего линейный и квадратичный члены, т. е. зарегистрированные веса межнейронных связей описываются выражениями

$$\begin{aligned} H_{LF}\left(\nu_x,\nu_y\right) &= \eta_1\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(F\left(x,y\right)\right)\right] + \eta_2\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(F\left(x,y\right)\right)\right]^2 \\ H_{LT}\left(\nu_x,\nu_y\right) &= \eta_1\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(T\left(x,y\right)\right)\right] + \eta_2\left[\mathcal{F}^*\left(L\left(x,y\right)\right)\mathcal{F}\left(T\left(x,y\right)\right)\right]^2 \end{aligned}, \qquad (3)$$

где η_1 и η_2 — коэффициенты при линейном и квадратичном членах разложения, то при разновременной, т. е. последовательной, записи $H_{LF}\left(\nu_x,\nu_y\right)$ и $H_{LT}\left(\nu_x,\nu_y\right)$ в РС возникают искомые связи $F\left(x,y\right)\leftrightarrow T\left(x,y\right)$ (рис. 3).

Согласно модели вывода как последовательной проекции [18], именно эта связь, показанная на рисунке 3 дугой, и необходима для его реализации.

Детальное изложение механизма возникновения данной связи и ее оценки требует обращения к аппарату волновой физики, от которого большинство читателей данной статьи в силу профессиональных интересов достаточно да-

леки, поэтому опустим его. Отметим лишь важный момент: для реализации схема НС (рис. 3) должна быть модифицирована следующим образом: НА необходимо преобразовать в *звезды Гроссберга* с тем, чтобы связи устанавливались не между самими НА, как на рисунках 2 и 3, а только между связанными с ними вычислительными нейронами Гроссберга (рис. 4).

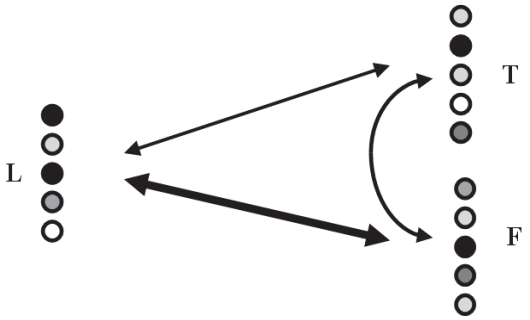


Рис. 3. Структура связей, регистрируемая при нелинейности ЭХ РС:
дуга, возникающая между образами **F** и **T**,
связь, обусловленная квадратичным членом ЭХ РС

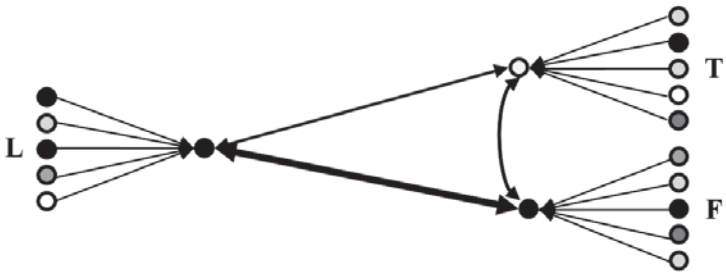


Рис. 4. Структура НС, необходимая для реализации феномена «Линда»

Обозначим веса связей η с соответствующими нижними индексами: например, η_{LF} обозначает вес связи «Линда»↔«Феминистка». По условиям задачи $\eta_{LF} > \eta_{LT}$, пусть $\eta_{LF} = k \cdot \eta_{LT}, k > 1$; тогда при предъявлении образа «Линда» интенсивности нейронов Гроссберга, соответствующие интенсивностям тех или иных НА (напомним, что согласно (1) интенсивность в волновой физике есть вероятность в квантовой), возбужденных прямыми связями, $F_1 = L \cdot \eta_{LF} = L \cdot k \cdot \eta_{LT}$ и $T_1 = L \cdot \eta_T$ соответственно, т. е. $F_1 = kT_1$.

Теперь в действие вступает обозначенная на рисунке 4 дугой связь, не заданная при обучении, но «самопроизвольно» возникшая в силу квадратичной нелинейности ЭХ РС. Восстановленный образ «Феминистка» через связь $F(x,y) \leftrightarrow T(x,y)$ с весом η_{FT} активирует нейрон Гроссберга (и через него)

соответствующий НА «Кассир»: $T_2 = F_1 \cdot \eta_{FT} = L \cdot k\eta_{LT}\eta_{FT}$. Рассмотрим простейший случай — отсутствие интерференционного члена при сложении вероятностей, т. е. сложение не волновых функций, а интенсивностей. Тогда суммарная интенсивность образа «Кассир»

$$T = T_1 + T_2 = L \cdot \eta_{LT} + L \cdot k\eta_{LT}\eta_{FT} = L\eta_{LT}\left(1 + k\eta_{FT}\right).$$

Аналогично и образ «Кассир» дает $F_2 = T_1 \cdot \eta_{TF} = L\eta_T\eta_{TF}$, суммарная интенсивность образа «Феминистка»:

$$F = F_1 + F_2 = L \cdot k\eta_T + L \cdot \eta_T\eta_{TF} = L\eta_T\left(k + \eta_{TF}\right).$$

Отсюда оценка эффективности метода в плане усиления НА образа «Кассир» относительно НА образа «Феминистка» за счет действия связей, обусловленных наличием квадратичной нелинейности ЭХ РС:

$$V = \frac{TF_1}{FT_1} = \frac{k\left(1 + k\eta_{FT}\right)}{\left(k + \eta_{TF}\right)} = \frac{k + k^2\eta_{FT}}{k + \eta_{TF}}. \qquad (4)$$

Поскольку по условиям задачи $k > 1$, то $V > 1$, т. е. имеем нейросетевую реализацию феномена «Линда». Обычно $\eta_{TF} < 1$; более того, достаточно часто $\eta_{TF} \ll 1$, т. е. зависимость (4) от k почти линейная. Нетрудно видеть, что с ростом k отношение $\frac{T_1}{F_1} = \frac{1}{k}$ убывает быстрее, чем $\frac{T}{F}$, даже при ДЭ $\eta_{FT} = 0{,}01$, т. е. феномен реализуется даже при очень слабых силах связей, возникающих вследствие квадратичной нелинейности ЭХ РС.

Заключение

Рассмотренный механизм точно соответствует концепции последовательного проектирования вектора состояния на подпространства [18]. При увеличении количества образов, ассоциируемых с основным, связи возникают между всеми образами, т. е. модель не имеет ограничений сверху на количество ассоциируемых образов.

Таким образом, феномен «Линда», часто рассматриваемый как один из краеугольных камней концепции квантовой природы сознания, интеллекта, социума, может иметь в своей основе вполне классические механизмы, не требующие обращения к квантовым эффектам и механизмам, а именно: нелинейность отклика регистрирующих сред и устройств, реализующих связи в биологических нейронных сетях, в социуме и т. п. Специально подчеркнем, что этот вывод никоим образом не следует рассматривать как отрицание возможности наличия квантовых эффектов или, более того, обусловливающей их квантовой природы сознания, интеллекта и социума.

Автор считает приятным долгом поблагодарить канд. техн. наук, ст. науч. сотр. В.В. Орлова за полезные обсуждения, уточнения и экспериментальную демонстрацию представленных в [19] результатов, а также канд. физ.-мат. наук Н.А. Соловьева за интересные дискуссии, способствовавшие привлечению внимания автора к данной теме.

Работа поддержана РФФИ, грант 18-01-00676-а.

Список литературы

1. *Tversky A., Kahneman D.* Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment // Psychological Review. 1983. 90(4). P. 293—315.

2. *Хренников А.Ю.* Неколмогоровские теории вероятностей и квантовая физика. М. : Физматлит, 2003.

3. *Bulinskii A.V., Khrennikov A.Yu.* Nonclassial total probability formula and quantum interference of probabilities // Statistics and Probability Letters. 2004. Vol. 70, № 1. P. 48—58.

4. *Trueblood J.S., Pothos E.M., Busemeyer J.R.* Quantum probability theory as a common framework for reasoning and similarity // Front. Psychol. 2014. № 5. P. 322.

5. *Khrennikov A.Yu.* Quantum-like modeling of cognition // Frontiers in Physics. 2015. № 3. P. 77.

5. *Moreira C., Wichert A.* Quantum Probabilistic Models Revisited: The Case of Disjunction Effects in Cognition // Frontiers in Physics. 2016. № 4. P. 26.

6. *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. М., 1974.

7. *Гриб А.А.* К вопросу об интерпретации квантовой физики // УФН. 2013. Т. 183, № 12. С. 1337—1352.

8. *Meijer D.K.F., Raggett S.* Quantum Physics in Consciousness Studies. UK : Quantum Mind UK, 2014. P. 180.

9. *Grib A.* Some Remarks on Quantum Logics and Quantum Mechanics // Advances in Applied Clifford Algebras. 2018. № 28. P. 29.

10. *Павлов А.В.* Об алгебраических основаниях Фурье-голографии // Оптика и спектроскопия. 2001. Т. 90, № 3. С. 515—520.

11. *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М. : Мир, 1968.

12. *Прибрам К.* Нелокальность и локализация: голографическая гипотеза о функционировании мозга в процессе восприятия и памяти // Синергетика и психология. Т. 1: Методологические вопросы. М., 1997. С. 156—183.

13. *Глезер В.Д.* Согласованная фильтрация в зрительной системе // Оптический журнал. 1999. Т. 66, № 10. С. 10—14.

14. *M. Peruš* Neural Networks as a basis for quantum associative networks // Neural network world. 2000. Vol. 10. P. 1001—1013.

15. *Peruš M.* Multi-level Synergetic Computation in Brain // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2001. Vol. 4, № 2. P. 157—193.

16. *Loo C.K., Peruš M., Bischof H.* Associative memory based image and object recognition by quantum holography // Open Systems & Information Dynamics. 2004. Vol. 11, № 3. P. 277—289.

17. *N.W. Tay, C.K. Loo, M. Peruš* Face Recognition with Quantum Assiciatyive Networks Uaing Overcomplete Gabor Wavelet // Cognitive Computation. 2010. Vol. 2. P. 297—302.

18. *Busemeyer, J. R., Pothos, E., Franco, R., and Trueblood, J. S.* A quantum theoretical explanation for probability judgment «errors» // Psychol. Rev. 2011. Vol. 118, № 2. P. 193—218.

19. *Орлов В. В.* О решетках, возникающих при нелинейной записи наложенных голограмм // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30, вып. 24. С. 77—81.

И. А. Тимина, А. А. Романов
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия
e-mail: i.timina@ulstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ РАЗРАБОТАННОГО АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Введение

В данной работе проводится исследование и тестирование временных рядов (ВР) в анализе и моделировании методами F-преобразования и углового коэффициента сходства в сравнении с предлагаемым алгоритмом краткосрочного прогнозирования деятельности производственного предприятия [1]. Результат работы — выявление лучшего метода согласно моделям, алгоритмам и программам, решающим задачу организации автоматизированного метода прогнозирования проектных метрик.

1. Метод F-преобразования

На ВР № 104 из NN3 [2] проведены эксперименты с применением F-преобразования в задаче определения сходства временных рядов.

Первый эксперимент выполнен на множестве ВР статистки финансовых показателей предприятий (коэффициенты: абсолютной ликвидности, автономии, срочной ликвидности, маневренности собственных оборотных средств, оборачиваемости оборотного капитала, оборачиваемости собственного капитала, текущей ликвидности, финансовой независимости в части запасов, финансовой независимости в части оборотных средств) [3]. Отобраны ВР, имеющие одинаковую длину (в конкретном случае было выбрано 14 рядов длиной 37 точек). Заранее известно, что ряды в этом множестве обладают схожим характером поведения. Второй эксперимент был проведен на ВР соревнования NN3 (количество рядов равно 8, длина ряда — 126 точек). Количество точек, которое покрывает базисная функция, выбрано равным семи, чтобы компоненты F-преобразования сглаживали резкие выпады ВР.

Значения коэффициента корреляции для первого эксперимента представлены в таблице 1 [4].

© Тимина И. А., Романов А. А., 2018

Таблица 1

Значения коэффициента корреляции

ВР 1	ВР 2	Корре-ляция	ВР 1	ВР 2	Корре-ляция	ВР 1	ВР 2	Корре-ляция	ВР 1	ВР 2	Корре-ляция
1	2	0,97	2	13	0,99	5	6	0,85	7	14	0,96
1	3	0,91	2	14	0,96	5	7	0,84	8	9	0,94
1	4	0,73	3	4	0,89	5	8	0,78	8	10	0,9
1	5	0,84	3	5	0,96	5	9	0,92	8	11	0,97
1	6	0,62	3	6	0,8	5	10	0,92	8	12	0,95
1	7	0,95	3	7	0,91	5	11	0,8	8	13	0,97
1	8	0,94	3	8	0,85	5	12	0,78	8	14	0,99
1	9	0,95	3	9	0,96	5	13	0,87	9	10	0,99
1	10	0,94	3	10	0,97	5	14	0,77	9	11	0,94
1	11	0,93	3	11	0,87	6	7	0,55	9	12	0,92
1	12	0,95	3	12	0,87	6	8	0,45	9	13	0,98
1	13	0,97	3	13	0,92	6	9	0,72	9	14	0,93
1	14	0,94	3	14	0,84	6	10	0,77	10	11	0,92
2	3	0,93	4	5	0,92	6	11	0,51	10	12	0,9
2	4	0,74	4	6	0,95	6	12	0,48	10	13	0,97
2	5	0,86	4	7	0,68	6	13	0,63	10	14	0,9
2	6	0,63	4	8	0,59	6	14	0,45	11	12	0,97
2	7	0,97	4	9	0,81	7	8	0,96	11	13	0,97
2	8	0,96	4	10	0,85	7	9	0,95	11	14	0,97
2	9	0,98	4	11	0,63	7	10	0,93	12	13	0,95
2	10	0,97	4	12	0,61	7	11	0,98	12	14	0,96
2	11	0,96	4	13	0,73	7	12	0,98	12	15	0,54
2	12	0,96	4	14	0,57	7	13	0,97	13	14	0,97

Если выделить группы временных рядов при коэффициенте корреляции >0,9, то получим следующие результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Группы ВР (коэффициент корреляции >0,9)

Ряд	Количество похожих рядов	Ряд	Количество похожих рядов
1	10	8	8
2	10	9	9
3	7	10	8
4	2	11	9
5	4	12	8
6	1	13	10
7	10	14	8

Один из вариантов формирования группы по данным результатам — выделить ряды, имеющие максимально количество похожих, и включить в список все участвующие ряды [5]. Например, можно выделить следующую группу рядов: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.

Рассмотрим процедуру моделирования и краткосрочного прогнозирования ВР методом нечетких элементарных тенденций (НЭТ) [6—9]:

1) выбор ВР для анализа;

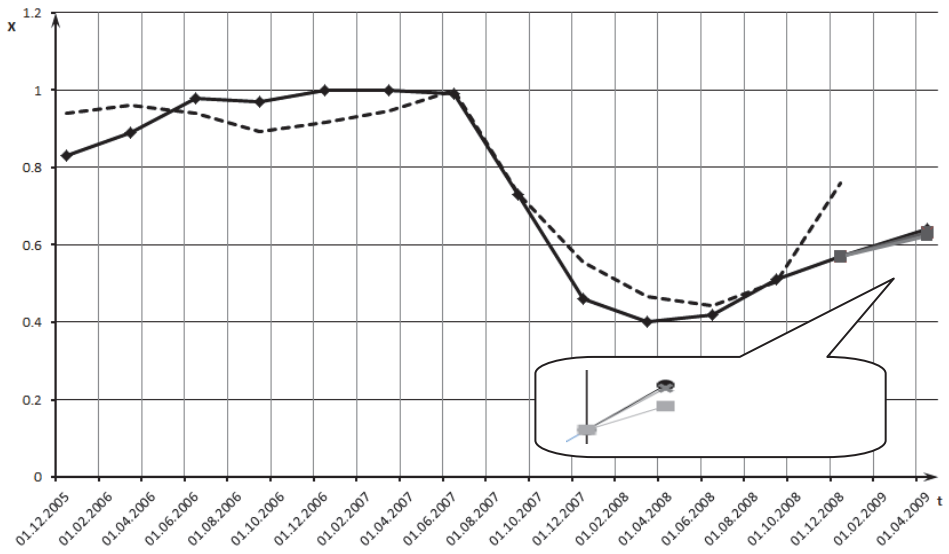
2) преобразования в нечетких исходных ВР с использованием ACL-шкалы;

3) построение модели нечеткой тенденции;

4) просмотр результатов в графической, числовой, лингвистической формах.

Визуальный анализ (см. рис.) показывает хорошее качество соответствия проведенного анализа динамике исследуемого ВР.

На рисунке представлен вариант прогнозирования с использованием гипотезы.



Обозначения:

ось *x* — значение ВР, ось *t* — время; — ВР *Y*; — ВР Z;

— прогноз без учета корректировки;

— прогноз τ_{t+1}^{Y} после корректировки ВР *Y* по основной тенденции ВР *Y*;

— прогноз $\hat{\tau}_{t+1}^{Y}$ после корректировки ВР *Y* по основной тенденции ВР *Z*

Рис. Анализ состояния производственного предприятия по его временному ряду

Результаты анализа нечетких ВР (НВР) представлены в таблице 3. В таблице 4 приведены результаты прогноза с учетом корректировок.

Таблица 3

Результаты анализа

Ряд	Общая тенденция	Корреляция	Гипотеза 1
НВР1	Рост	0,9995 (сильная)	Рост слабый
НВР2	Падение		

Таблица 4

Результаты прогноза

Гипотеза	Прогноз τ_t	Прогноз τ_{t+1}	Прогноз τ_{t+1}^{Y}	Прогноз $\hat{\tau}_{t+1}^{Y}$
Сохранение тенденции	0,573	0,641	0,633	0,625

Поскольку корреляция сильная, делаем вывод, что ряды взаимно зависимы. Так как *Y* сильно зависит от *Z*, то и прогнозирование будет с учетом тенденции *Z*. В таблице 5 приведены оценки прогноза НВР2.

Таблица 5

Критерии оценки прогноза

Оценка прогноза	Прогноз τ_{t+1}^{Y}	Прогноз $\hat{\tau}_{t+1}^{Y}$
MSE	0,006	0,0033
RMSE	0,0774	0,0574

2. Методы углового коэффициента сходства

Задача поиска сходства метрик проектной деятельности, представленных ВР, нуждается в специальных средствах выражения сходства. Авторы [10] предложили специальную меру ассоциации. Для сравнения результатов проведен эксперимент на парах экономических рядов показателей финансовой организации, итоги которого представлены в таблице 6 [11—14]: коэффициент автономии / соотношение заемных и собственных средств; коэффициент абсолютной ликвидности / коэффициент маневренности; коэффициент текущей ликвидности / коэффициент финансовой независимости в части запасов; коэффициент автономии / тест 1; коэффициент финансовой независимости в части оборотных средств / рентабельность всех активов по чистой прибыли.

Таблица 6

Результаты сравнения

№ п/п	Мера ассоциации локальных трендов ВР y и x $\cos s_k(y,x)$			Степень различия НЭТ	Степень сходства НЭТ	Корреляция	Оценка корреляции
	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$\rho(\tau_i,\tau_s)$	$q(\tau_i,\tau_s)$		
1	–0,9992	–0,9996	–0,9995	0,79	0,21	–0,9995	сильная
2	0,5028	0,3455	0,4687	0,44	0,56	0,4718	слабая
3	–0,1727	–0,2398	0,0607	0,83	0,17	0,0419	нет корреляции
4	0,9267	0,9743	0,9858	0,21	0,79	0,9814	сильная
5	–0,3805	–0,3448	–0,5132	0,85	0,15	–0,4414	слабая

Заключение

Полученные методом F-преобразования результаты для вышеописанного примера свидетельствуют об адекватности и эффективности подобранной гипотезы для решения задачи прогноза и нечеткой тенденции ВР, содержащего данные финансовых коэффициентов, рассчитанных на базе бухгалтерских показателей деятельности организации (12 временных точек).

Результаты эксперимента методами углового коэффициента сходства продемонстрировали равенство показателей исследуемых методов, что говорит о возможности использования предлагаемых [15] способах выявления сходства между ВР для дальнейшего прогнозирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-47-732070.

Список литературы

1. *Мошкин В.С., Пирогов А.Н., Тимина И.А. и др.* Интеллектуальный анализ проектных и терминологических метрик в управлении проектами // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4(46). С. 84—91.

2. *NN3* // Neural-forecasting-competition. URL: http://www.neural-forecasting-competition.com/downloads/NN3/datasets/NN3_REDUCED.xls (дата обращения: 27.12.2017).

3. *Афанасьева Т.В., Гуськов Г.Ю., Перфильева И.Г. и др.* Интеллектуальный вебсервис экспресс-анализа экономического состояния предприятия // Труды 14-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2014, Казань). Казань : РИЦ «Школа», 2014. Т. 2. С. 213—221.

4. *Перфильева И.Г., Ярушкина Н.Г., Романов А.А.* Формирование групп временных рядов // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Нечеткие системы и мягкие вычисления-2014 (НСМВ-2014)», июнь 2014. СПб. : Политехника-сервис, 2014. Т. 1. С. 8—16.

5. *Перфильева И.Г., Романов А.А.* Извлечение знаний о группах временных рядов для задач прогнозирования // Труды 14-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2014, Казань). Казань : РИЦ «Школа», 2014. Т. 2. С. 75—83.

6. *Романов А.А.* Применение метода F-преобразования для прогноза тренда и числового представления временного ряда // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. С. 1103—1109.

7. *Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Романов А.А., Тимина И.А.* Извлечение знаний о зависимостях временных рядов для задач прогнозирования // Радиотехника. 2014. Т. 7. С. 141—146.

8. *Артюхов М.В., Романов А.А., Гуськов Г.Ю., Тимина И.А.* Построение массива методов для прогнозирования временных рядов // «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» VIII Международная научно-практическая конференция : сб. науч. тр. М. : Физматлит, 2015. — С. 332—341.

9. *Артюхов М.В., Романов А.А., Гуськов Г.Ю., Тимина И.А.* Прогнозирование временных рядов коллективами методов // Радиотехника. 2015. №6. С. 48—54.

10. *Batyrshin I., Herrera R., Sheremetov L., Suarez R.* Moving approximations in time series data mining // Proceedings of International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance. St. Petersburg, 2004. Vol. 1. P. 62—72.

11. *Perfilieva I.G., Yarushkina N.G., Afanasieva T.V., Romanov A.A.* Internet service for the analysis of enterprise economics using time series fuzzy modeling // Proceedings of the 2013 joint IFSA world congress and nafips annual meeting, IFSA/NAFIPS 2013. Edmonton : IEEE, 2013. P. 1113—1118.

12. *Ярушкина Н.Г., Тимина И.А.* Алгоритм адаптации прогноза зависимых временных рядов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. II Междунар. Поспеловского симпозиума. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. С. 398—403.

13. *Экономические* коэффициенты. URL: http://tsas.ulstu.ru/ (дата обращения: 14.01.2018).

14. *Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Игонин А.Г. и др.* Разработка Internet-сервиса, интегрирующего нечеткое моделирование и анализ нечетких тенденций временных рядов // Автоматизация процессов управления. 2010. Т. 2. С. 64—69.

15. *Тимина И.А.* Нечеткая зависимость временных рядов в моделировании и прогнозировании состояния организации // Информатика и вычислительная техника : сб. науч. тр. 5-й Всероссийской научно-технической конференции. Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2013. С. 228—234.

В.М. Трембач[1], Ю.Ф. Тельнов[2], А.В. Данилов[3]
НИУ МАИ, Москва, Россия
РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
e-mail: [1]trembach@yandex.ru, [2]Telnov.YUF@rea.ru, [3]Danilov.AV@rea.ru

ФОРМИРОВАНИЕ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПТОВ — ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПРОСТОЙ МОДЕЛЬЮ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ

Введение

В современных организационно-технических сиситемах (ОТС) широко используется компьютерная парадигма [1], не обеспечивающая решение сложных интеллектуальных задач. Это связано с тем, что в компьютерную

© Трембач В.М., Тельнов Ю.Ф., Данилов А.В., 2018

парадигму заложены методы символьного представления информации и ее обработки с помощью алгоритмических, ориентированных на логику и комбинаторику процедур. В итоге компьютерный подход при решении некоторых задач уступает человеку в скорости интерпретации ситуации и формирования адекватного сценария поведения. По этой причине у специалистов большой интерес вызывает развитие когнитивного подхода, который ориентирован на быструю и адекватную оценку и интерпретацию целостных картин мира. В настоящее время создание ОТС с использованием цифровых технологий требует комплексирования методов и средств символьной логической обработки данных и когнитивных механизмов обработки образов и концептов.

Одним из направлений в решении этого вопроса стало использование модульного (компонентного, сборочного) проектирования интеллектуальных систем (ИС), что позволяет ускорить эти процессы в ОТС. Для решения этой задачи авторами [2] предлагается создать общую библиотеку многократно используемых семантически совместимых компонентов интеллектуальных систем. Активно используются разработчиками современные подходы и технологии, которые расширяют возможности и добавляют преимущества модульного подхода. Так, сервисно-ориентированная архитектура (СОА) отражает модульный подход к разработке программного обеспечения. В основу СОА заложено использование заменяемых компонентов, которые имеют стандартизированные интерфейсы и взаимодействуют по стандартизированным протоколам [3].

Для разработчиков ОТС важен агентно-ориентированный подход. Он во многом схож с объектно-ориентированным подходом (ООП), использующим объектную декомпозицию.

Агент находится на заметно более высоком уровне сложности по отношению к традиционным объектам в ООП. В своих работах В. Б. Тарасов [4] отмечает, что если для сравнения использовать систему абстрактных полярных шкал типа «пассивный — активный», «реактивный — целенаправленный», «зависимый — автономный» и поместить на них объекты и агенты, то объекты будут располагаться на левых полюсах, а агенты должны находиться правее, ближе к полюсам «активный», «целенаправленный», «автономный». Смещение агентов на указанных шкалах к правым полюсам показывает доступный уровень субъективности МАС.

В современных динамических интеллектуальных ОТС используются модули, разработанные на основе компьютерной парадигмы [1; 7; 8], в основу которой заложены символьные представления информации и их обработка с помощью алгоритмических, ориентированных на логику и комбинаторику процедур. Такой подход проигрывает когнитивным механизмам, используемым человеком при решении некоторых задач принятия ситуационных решений [1; 8]. У специалистов в области искусственного интеллекта (ИИ) есть результаты исследований когнитивных механизмов [1], но не разработаны методы и средства для создания модулей, позволяющих использовать указанные подходы в сочетании с применением компьютерной парадигмы.

В статье рассматриваются вопросы формирования и формализации концептов — представлений действительности в модулях ОТС с интеграцией компьютерной парадигмы и когнитивных механизмов.

1. ОТС с использованием когнитивных механизмов

Опыт разработки и использования интеллектуальных систем указывает на необходимость поиска новых подходов к созданию ОТС. В работах [9; 10] отмечается перспективное направление, особенность которого — не вопрос адекватности разрабатываемой теории реальным процессам человеческого мышления, выявление возможности применения и дальнейшего развития наработанных результатов исследований в интеллектуальных технологиях [1]. При этом специалистами в области ИИ отмечается сложность задач исследования и использования когнитивных механизмов современного человека. Это связано со многими факторами [11; 12], появившимися в ходе эволюционного развития: опыт взаимодействия с действительностью, образование, религия, личные взгляды, культура, заблуждения, ожидания и т. д. Поэтому один из применяемых подходов к исследованию сложных задач — использование более простой модельной задачи [12]. В таких задачах можно исключить многие факторы эволюционного развития, а усложняется система по мере понимания исследуемых когнитивных механизмов.

Под простой модельной задачей может пониматься задача по переводу объекта из текущего состояния в требуемое на основе анализа небольшого числа признаков (датчиков) и управляющих объектом воздействий (команд) с точки зрения достижения поставленной цели.

Для решения такой задачи необходимы: целевое (требуемое) состояние объекта, которое ему необходимо достичь; текущее состояние объекта с учетом внешних возмущений, получаемое в результате анализа признаков действительности (значений датчиков); планирование управляющих воздействий для достижения требуемого состояния; реализация управляющих воздействий для достижения требуемого состояния (цели).

2. Формализация концептов — представлений действительности в ОТС

На начальном этапе развития ОТС для решения простой модельной задачи в модулях фиксации результата решения задачи, использования требуемого состояния $S_ц$, формирования текущего состояния $S_{тек}$ и БЗ модуля планирования управляющих воздействий могут применяться чувственные образы. Для них признаки формируются в модуле формирования текущего состояния $S_{тек}$, с использованием среды восприятия, датчиков, сенсоров управляемого объекта. Хранятся признаки в базе знаний модуля планирования управляющих воздействий, а используются для формирования множества управляющих воздействий, а также формирования и сохранения результата решения задачи.

В настоящее время существует множество подходов и методов к представлению знаний. Они имеют ограниченные области решаемых задач из-за

присущих им свойств и ограничений. Для представления чувственного образа предлагается интегрированный подход, в основе которого — сетевые и логические парадигмы представления действительности.

Для пояснения особенностей интегрированного подхода к описанию концептов-представлений необходимы некоторые понятия и определения, используемые в логике [13]. Свойства и отношения сущностей задаются признаками, которые подразделяются на существенные и несущественные. Существенные признаки — это те, которые необходимы. Без них сущность не представляется в своей качественной определенности. Несущественные признаки являются второстепенными. Наличие или отсутствие таких признаков оставляет сущность в том же качестве. Несущественные признаки подразделяются на собственные и случайные. Собственные признаки свойственны всем предметам данного рода и выражают одну из характерных и важных черт этих сущностей. Случайные признаки характеризуют второстепенные индивидуальные черты сущностей. Существенные и несущественные признаки различаются, и эти различия имеют относительный характер.

Для любой сущности можно поставить в соответствие содержание и объем. Содержание сущности — совокупность характеризующих ее существенных признаков, подразумевающих (определяющих) данную сущность. Объем сущности составляет совокупность (множество) предметов, объектов или явлений, которые охвачены этой сущностью. Со времени Аристотеля признаки понятий принято делить на пять классов. Для сущностей будет использоваться класс *Род* (лат. *genus*), или родовой признак — понятие класса, в который вводится другое рассматриваемое понятие.

Чувственный образ представляется множеством вершин и взвешенных связей между ними. Каждая вершина описывается атрибутами сущности (см. рис.): имя описываемой вершины-сущности; предусловие; постусловие; список имен вершин-сущностей нижнего уровня (содержание); список имен (названий) вершин-сущностей верхнего уровня; список имен (названий) вершин-сущностей рода (объем); множество представлений о ситуациях, активизирующих вершину-сущность.

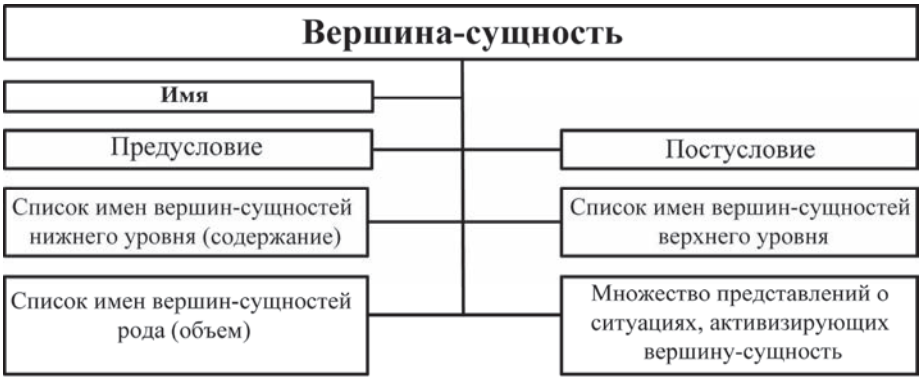


Рис. Структура представления чувственного образа действительности

Имя описываемой вершины-сущности может выступать в роли определяющего вершину-сущность элемента. Имя обеспечивает уникальность обозначения описания рассматриваемой сущности, это набор символов, представляющих уникальную комбинацию [14].

Предусловие для текущей (рассматриваемой) вершины-сущности — описание ситуации, при которой вершина, соответствующая текущей сущности, будет активной [14].

Постусловие для текущей (рассматриваемой) вершины-сущности — признак активизации, свидетельствующий о переходе вершины-сущности, которая рассматривается, в активное состояние [14].

Список имен нижнего уровня — содержание для текущей вершины-сущности. В него входят названия вершин-сущностей, которые определяют рассматриваемую вершину-сущность.

Список имен верхнего уровня для анализируемой вершины-сущности состоит из имен вершин-сущностей, которые определяются рассматриваемой вершиной [14].

Список имен (названий) рода для текущей (рассматриваемой) вершины содержит все имена вершин, которые охвачены рассматриваемой вершиной. Является объемом вершины-сущности.

Для развития ОТС используются концепты-представления — обобщенные чувственные образы разных предметов и явлений. Они — более высокие по степени абстрактности, по сравнению с действительностью, воспринимаемой через конкретно-чувственные образы. Концепты-представления отражают множество наиболее наглядных, ярких внешних признаков предмета или явления. Данные концепты создаются в формате интегрированного подхода к представлению знаний.

Структура концепт-представления имеет следующий вид: имя концепта-представления; ПРДУ — предусловия — множество существенных и отделяемых признаков представления; ПСТУ — постусловия — признак активизации вершины-сущности (концепта-представления); содержание концепта-представления — множество существенных признаков представления; СПИМ-ВУ — список имен верхнего уровня; объем концепта-представления — множество предметов или явлений, на которые распространяется концепт-представление.

3. Демонстрационный пример формирования базы знаний концептов-представлений

Для ОТС, использующих концепты-представления, сформирован пример для описания предмета «телефон» в формате чувственного образа. Все ситуации этого чувственного образа (телефона) фиксируются в модуле формирования $S_{тек}$. Для первого появления этого предмета все его признаки считаются существенными и фиксируются для описания концепта-представления. При следующих ситуациях остаются только совпавшие признаки. Несовпавшие признаки помечаются для исключения ошибки.

Весовые коэффициенты у помеченных признаков начинают уменьшаться, а по достижении заданного нижнего уровня (это происходит после определенного числа повторений такой ситуации) данный признак удаляется из числа существенных признаков описания концепта-представления [8; 14; 15].

С вводом нового образа телефона происходит изменение его представления до формирования обобщенного описания этого предмета. В листинге показано обобщенное представление телефона в виде фрагмента базы знаний:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<base>
  <prototype name="телефон" comments="аппарат для связи">
    <PRDU>
      <element name="есть_мкф_наушник" ODZname="да" w="1" />
      <element name="наличие_НН" ODZname="да" w="1" />
    </PRDU>
    <PSTU>
      <element name="тлф" ODZname="да" w="1" />
    </PSTU>
  </prototype>
  <prototype name="АТС" comments="станция тлф">
    <PRDU>
      <element name="телефон" ODZname="да" w="1" />
```

Заключение

В рассмотренной кибернетической системе используются интегрированный подход к описанию действительности и когнитивный подход к мышлению человека. Это позволяет решать несложные задачи целенаправленного поведения. В такой системе возможно формирование концептов-представлений, относящихся к предметам или явлениям.

Для развития когнитивного подхода модули интеллектуальной системы должны не только формировать концепты-представления, но и уметь их использовать для сокращения объемов перерабатываемой информации при принятии решений, для выхода из незапланированных ситуаций. Для этого целесообразно использовать управляющие воздействия (команды), которые могут быть спланированными и реализованными без изменений. В дальнейшем можно будет формировать обобщенные представления команд. В этом случае потребуется их перевод в конкретный, исполняемый вид. Эффективность применения данного подхода будет зависеть от степени обобщения (перехода к конкретным) не только воспринимаемых предметов и явлений, но и действий над ними.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-07-01062; 18-07-00918.

Список литературы

1. *Кузнецов О. П.* Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32—42.

2. *Голенков В. В., Гулякина Н. А.* Принципы построения массовой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS2011) : матер. I Междунар. науч.-техн. конф. Минск : Изд-во БГУИР, 2011. С. 21—58.

3. *Krafzig D., Banke K., Slama D.* Enterprise SOA. Prentice Hall, 2005.

4. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

5. *Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А.* Модель многоагентной системы реализации информационно-образовательного пространства // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24—27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия) : труды конф. Казань : РИЦ «Школа», 2014. Т. 1. С. 334—343.

6. *Трембач В.М.* Многоагентная система для решения задач целенаправленного поведения // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ 2014 (24—27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия) : труды конф. Казань : РИЦ «Школа», 2014. Т. 1. С. 344—353.

7. *Рыбина Г.В., Паронджанов С.С.* Технология построения динамических интеллектуальных систем : учеб. пособ. М. : НИЯУ МИФИ, 2011.

8. *Трембач В.М.* Когнитивный подход к созданию интеллектуальных модулей организационно-технических систем // Открытое образование. 2017. № 2. С. 78—87.

9. *Rosch E.* Cognitive representations of semantic categories // Journal of Experimental Psychology. 1975. Vol. 104. P. 192—233.

10. *Lakoff J.* Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. Chicago : University of Chicago Press, 1987.

11. *Лапаева Л.Г., Быченков О.А., Рогаткин Д.А.* Нейробиология, понятийные категории языка и элементарная модель мира робота // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ 2016 (3—7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия) : труды конф. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 2. С. 292—300.

12. *Рогаткин Д.А., Куликов Д.А., Ивлиева А.Л.* Три взгляда на современные данные нейронаук в интересах интеллектуальной робототехники // Моделирование искусственного интеллекта. 2015. № 2(6). С. 98—136.

13. *Челпанов В.Г.* Учебник логики. М. : Научная библиотека, 2010.

14. *Трембач В.М.* Решение задач управления в организационно-технических системах с использованием эволюционирующих знаний : монография. М. : Изд-во МЭСИ, 2010.

15. *Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.* Инженерия знаний. Модели и методы : учебник. СПб. : Лань, 2016.

О.А. Тягунов
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия
e-mail: tyagunov@mirea.ru

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Задачам построения основных законов управления исполнительным уровнем малых и средних автономных мобильных роботов (МР) посвящено достаточно много работ, из которых можно отметить [1—3]. Однако полу-

© Тягунов О.А., 2018

ченные результаты практически неприменимы при построении законов управления исполнительным уровнем тяжелых автономных МР. В значительной мере это связано с тем, что для процесса движения данного класса МР характерно наличие факторов неопределенности (неточное знание моделей динамики МР, сложный характер взаимодействия движителя МР и поверхности перемещения и т. д.).

В [4] при разработке законов управления основными программными режимами движения автономных МР в условиях значительного влияния факторов неопределенности было предложено использовать *методы искусственного интеллекта для реализации принципа* ситуационного управления с привлечением *экспертных данных* о *допустимых законах программного управления МР и известных* методиках обучения механиков-водителей тяжелых транспортных средств. В частности, были выделены три этапа решения поставленной задачи.

1. Этап формирования вербальной версии законов программного управления для базовых команд в различных ситуациях.

2. Этап формирования совокупностей временных диаграмм изменения состояния управляющих органов МР с последующим построением их математических моделей.

3. Этап построения оптимальных (квазиоптимальных) совокупностей согласованных во времени программных управляющих воздействий на исполнительные органы МР на основе использования методов искусственного интеллекта.

В рамках первых двух этапов были разработаны формализованные версии *экспертных знаний* в виде согласованных временных диаграмм изменения положения исполнительных органов МР для всех вариантов типовых команд движения для всех складывающихся ситуаций. Данные математического моделирования свидетельствуют о принципиальной работоспособности разработанных алгоритмов и о возможности их использования в подсистемах исполнительного уровня МР различного назначения.

В настоящем докладе рассмотрена постановка и решение задачи построения оптимальных (квазиоптимальных) совокупностей согласованных во времени программных управляющих воздействий на исполнительные органы МР на основе методов робастного оптимального управления [5].

Список литературы

1. *Iagnemma K., Dubowsky S.* Mobile Robots in Rough Terrain. Berlin ; Heidelberg : Springer Verlag, 2004.

2. *Lamon P.* 3D-position Tracking and Control for All-Terrain Robots. Berlin ; Heidelberg : Springer Verlag, 2008.

3. *Бурдаков С. Ф., Мирошник И. В., Стельмаков Р. Э.* Системы управления движением колесных роботов. СПб. : Наука, 2001.

4. *Тягунов О. А., Теплов М. А.* Об одной задаче построения программных законов управления исполнительного уровня автономных мобильных роботов с использовани-

ем метода ситуационного управления и технологий экспертных систем // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всесоюзной Поспеловской конференции с международным участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 350—358.

5. *Boltyanski V. G., Poznyak A. S.* The robust maximum principle. Birkhauser, 2012.

А. А. Филиппов[1], В. С. Мошкин[2], Н. Г. Ярушкина[3]
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия
e-mail: [1]al.filippov@ulstu.ru, [2]v.moshkin@ulstu.ru, [3]jng@ulstu.ru

ПОСТРОЕНИЕ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОДЕРЖИМОГО WIKI-РЕСУРСОВ

Главная особенность онтологии — необходимость ее развития и обновления вследствие изменения представляемой предметной области (ПрО). Расширение онтологии — сбор знаний, опирающийся на (полу-)автоматические методы для преобразования неструктурированных, слабоструктурированных и структурированных данных в концептуальные структуры. Расширение ядра онтологии ПрО на основе содержимого wiki-ресурсов позволяет интеллектуальной системе динамически адаптироваться к изменениям ПрО [1].

Существуют различные подходы к расширению ядра онтологии: формирование классов и отношений онтологии на основе анализа структуры wiki-ресурсов [2; 3]; формирование объектов и отношений онтологии на основе анализа структуры wiki-ресурсов [4—7]; формирование онтологии в процессе объединения нескольких онтологий [8—11].

Таким образом, для расширения ядра онтологии на основе содержимого wiki-ресурсов в основном используется структурированная информация: иерархия разделов и страниц wiki-ресурса. При этом содержимое страниц wiki-ресурсов практически не учитывается. Для извлечения знаний из текста страниц wiki-ресурса можно использовать методы автоматической обработки текстов (АОТ) на естественном языке (ЕЯ).

Процесс АОТ обычно проходит в несколько этапов [12].

1. Графематический анализ — процесс начального анализа текста на ЕЯ, представление входных данных в формате, удобном для дальнейшего анализа, — разделение входного текста на слова, разделители и т. д.

2. Морфологический анализ (лемматизация) — процесс приведения слов входного текста не ЕЯ к словарной форме, определение части речи, рода, падежа и т. д.

3. Синтаксический анализ — процесс выделения членов простых предложений и построение дерева синтаксического разбора.

4. Семантический анализ — построение семантического дерева предложения, семантическая интерпретация слов и конструкций, установление семантических отношений между элементами текста.

© Филиппов А. А., Мошкин В. С., Ярушкина Н. Г., 2018

Семантическое дерево, извлеченное из wiki-ресурсов, можно рассматривать как вариант онтологии, содержимым которой может быть расширено ядро онтологии ПрО. Для получения семантического дерева необходимо разработать метод трансляции дерева синтаксического разбора в семантическое дерево.

1. Построение семантического дерева предложения на естественном языке

Для построения семантического дерева предложения на ЕЯ необходимо определить синтаксическую структуру предложения. В настоящее время существует несколько средств синтаксического анализа текстов на русском языке [13—15]. В работе в качестве средства для построения дерева синтаксического разбора текста на ЕЯ выбран инструментарий в рамках проекта АОТ [13]. Рассмотрим пример работы алгоритма трансляции дерева синтаксического разбора в семантическое дерево на примере тестового фрагмента на русском языке: *Онтология в информатике — это попытка всеобъемлющей и подробной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы.*

Дерево синтаксического разбора для тестового фрагмента представлено на рисунке 1.

Функция трансляции дерева синтаксического разбора в семантическое дерево имеет вид:

$$F^{Sem} : \left\{ N_{li}^{Synt},\ P_j \right\} \to \left\{ N^{Sem},\ R^{Sem} \right\},$$

где N_{li}^{Synt} — i-й узел уровня l дерева синтаксического разбора; P_j — j-й синтагматический паттерн для определения узлов дерева синтаксического разбора, которые будут транслированы в узлы и отношения семантического дерева.

Под синтагматическим паттерном будем понимать совокупность нескольких слов, объединенных по принципу семантико-грамматически-фонетической сочетаемости. Синтагматический паттерн имеет вид:

$$\left(N_1^{Synt},\ N_2^{Synt},\ \ldots, N_k^{Synt} \right) \to \left\{ N^{Sem},\ R^{Sem} \right\},\ k = \overline{1,\ K},$$

где N_k^{Synt} — k-я синтагматическая единица паттерна, соответствующая узлу дерева синтаксического разбора (для использования синтагматического паттерна необходимо, чтобы были задействованы все входящие в него синтагматические единицы; примеры синтагматических паттернов и результаты их применения представлены в таблице); K — количество синтагматических единиц в паттерне; $\left\{ N^{Sem},\ R^{Sem} \right\}$ — множество узлов N^{Sem} и отношений R^{Sem} семантического дерева, полученных в результате трансляции дерева семантического разбора в семантическое дерево.

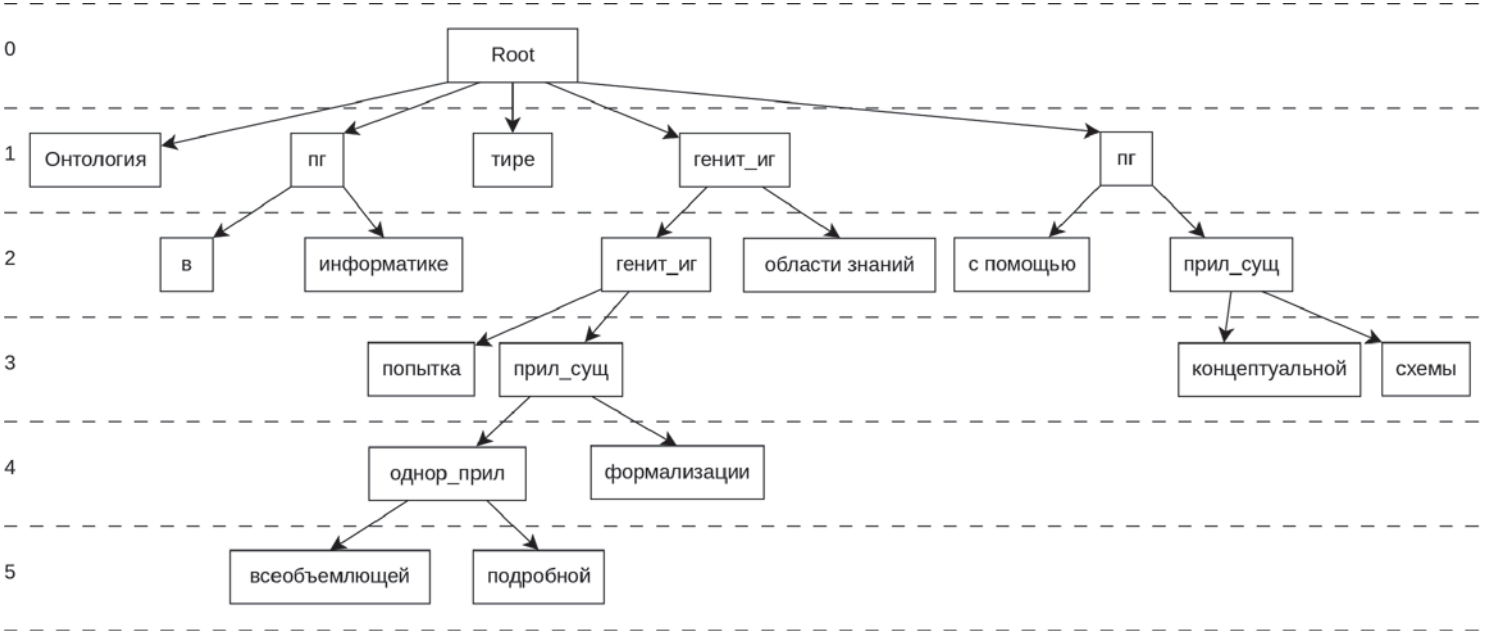


Рис. 1. Иллюстративный пример дерева синтаксического разбора для тестового фрагмента

Иллюстративные примеры синтагматических паттернов

Исходные данные	Синтагматический паттерн	Результат
Попытка-генит_иг-формализации	{node1}-{генит_иг}-{node2} → {node1}-associateWith-{node2}	попытка-associateWith-формализация
в-пг-информатике	{node1}-{пг}-{node2} → {prevNode}-getRelation(node)-{node2}	lastNode-relation-информатика
Тире	{тире} → {prevNode}-isA-{nextNode}	lastNode-isA-nextNode
Концептуальной-прил_сущ-схемы	{node1}-{прил_сущ}-{node2} → {node2}-hasAttribute-{node1}	схема-hasAttribute-концептуальный
(всеобъемлющей, подробной) однор_прил-формализации-	{node1}-{однор_прил}-{nodes} → {node1}- hasAttribute-{nodes[1]}, {node1}- hasAttribute-{nodes[2]}, {node1}- hasAttribute-{nodes[…]}, {node1}- hasAttribute-{nodes[count]}	формализация-hasAttribute-всеобъемлющий, формализация-hasAttribute-подробный

Алгоритм трансляции дерева синтаксического разбора в семантическое дерево состоит из следующих шагов:

1) перейти на первый уровень дерева синтаксического разбора;

2) выбрать следующий узел текущего уровня дерева;

3) если узел помечен, перейти к п. 2;

4) если узел — не синтаксическая метка, перейти к п. 9;

5) если узел — синтаксическая метка и не имеет дочерних элементов, перейти к п. 9;

6) если узел — синтаксическая метка и все его дочерние узлы не являются синтаксическими метками, перейти к п. 9;

7) если существует временный родительский узел, то заменить его, иначе создать временный узел;

8) если существует предыдущий узел и отношение с ним отсутствует, то установить временное отношение с ним и перейти к п. 2;

9) применить синтагматический паттерн для трансляции;

10) пометить обработанные узлы и перейти к п. 2;

11) перейти на следующий уровень дерева синтаксического разбора и выполнить п. 2.

На рисунке 2 представлено полученное семантическое дерево для тестового фрагмента.

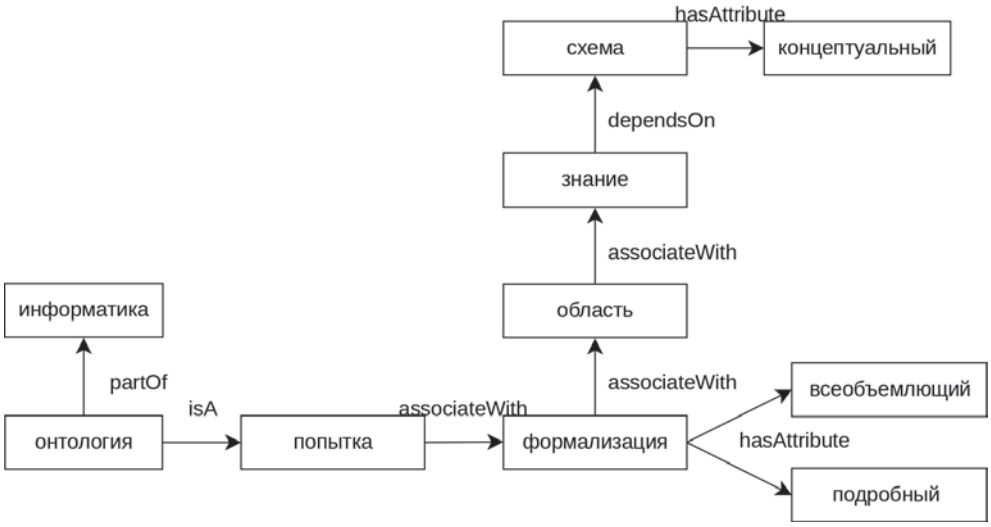


Рис. 2. Иллюстративный пример семантического дерева для тестового фрагмента

Полученное дерево может быть объединено с другими семантическими деревьями в рамках данного текста. Оно также может быть объединено с предметной онтологией, составленной экспертом. Расширение базы знаний посредством мерджинга извлекаемых из слабоструктурированных ресурсов семантических деревьев позволяет: обеспечить общее терминологическое пространство для совместного использования и понимания всеми пользователями; определить точное и непротиворечивое значение каждого термина.

Онтология определяет язык, при помощи которого выражается семантическая часть словаря. Таким образом, одно из применений разработанного алгоритма — семантическая валидация технической документации.

Заключение

Таким образом, использование алгоритма извлечения семантических деревьев из слабоструктурированных ресурсов значительно повышает семантическую точность и актуальность документации, касающейся областей, для которых характерно большое количество специализированной терминологии.

В последующих работах планируется значительно расширить набор правил трансляции узлов дерева синтаксического разбора в единицы семантического дерева с целью охвата большего числа видов семантических отношений между объектами онтологии. Помимо этого, планируется разработка алгоритмов мерджинга семантических графов из текстов одной ПрО. Этот алгоритм позволит избежать избыточности и противоречивости в формируемой онтологии.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 16-47-732054).

Список литературы

1. *Константинова Н.С., Митрофанова О.А.* Онтологии как системы хранения знаний. URL: http://www.ict.edu.ru/ft/005706/68352e2-st08.pdf (дата обращения: 12.01.2018).

2. *Шестаков В.К.* Разработка и сопровождение информационных систем, базирующихся на онтологии и Wiki-технологии // Труды 13-й Всероссийской науч. конф. «RCDL—2011». Воронеж, 2011. С. 299—306.

3. *Bizer C., Lehmann J., Kobilarov G. et al.* DBpedia — A Crystallization Point for the Web of Data // Journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web. 2009. Is. 7. P. 154—165.

4. *Субхангулов Р.А.* Онтологический поиск технических документов на основе модели интеллектуального агента // Автоматизация процессов управления. 2014. № 4(38). С. 85−91.

5. *Astrakhantsev N.A., Fedorenko D.G., Turdakov D.Y.* Automatic Enrichment of Informal Ontology by Analyzing a Domain-Specific Text Collection // Материалы ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 13(20). М. : Изд-во РГГУ, 2014. С. 29—42.

6. *Cui G.Y., Lu Q., Li W.J., Chen Y.R.* Corpus Exploitation from Wikipedia for Ontology Construction // Proceedings of the Sixth International Language Resources and Evaluation (LREC 2008). Marrakech, 2008. P. 2125—2132.

7. *Hepp M., Bachlechner D., Siorpaes K.* Harvesting Wiki Consensus — Using Wikipedia Entries as Ontology Elements // Proceedings of the First Workshop on Semantic Wikis — From Wiki to Semantics, Annual European Semantic Web Conference (ESWC 2006). 2006. P. 124—138.

8. *McGuinness D.L., Fikes R., Rice J., Wilder S.* An environment for merging and testing large ontologies // Proceedings of the 7th International Conference Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'2000). Colorado, 2000. P. 483—493.

9. *Noy N.F., Musen M.A.* Algorithm and Tool for Automated Ontology Merging and Alignment // Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence and Twelfth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. AAAI Press ; MIT Press, 2000. P. 450—455.

10. *Pottinger R., Bernstein P.A.* Schema merging and mapping creation for relational sources // EDBT 2008, 11th International Conference on Extending Database Technology. Proceedings. N. Y. : ACM, 2008. P. 73—84.

11. *Raunich S., Rahm E.* Target-driven Merging of Taxonomies. URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1012/1012.4855.pdf (дата обращения: 12.01.2018).

12. *Сокирко А.В.* Семантические словари в автоматической обработке : дис. … канд. техн. наук. М., 2001.

13. *Автоматическая* обработка текстов. URL: http://aot.ru/ (дата обращения: 12.01.2018).

14. *Артемов М. А., Владимиров А. Н., Селезнев К. Е.* Обзор систем анализа естественного текста на русском языке. URL: http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2013/02/2013-02-31.pdf (дата обращения: 12.01.2018).

15. *Боярский К.К., Каневский Е.А.* Семантико-синтаксический парсер SemSin // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. № 5. С. 869—876.

И.А. Ходашинский[1], М.Б. Бардамова[2]
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
e-mail: [1]hodashn@rambler.ru, [2]722bmb@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИНАРНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ПРИ ПОСТРОЕНИИ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ С ОТБОРОМ ПРИЗНАКОВ

Введение

Для создания надежных классификаторов необходимо иметь достаточный набор релевантных признаков, описывающих классифицируемые данные. Однако трудно априори определить, какие признаки релевантные, а какие нет. Нерелевантные и избыточные признаки увеличивают пространство поиска и тем самым существенно снижают эффективность обучения. Для устранения негативного влияния нерелевантных и избыточных признаков предложены различные методы их отбора. В связи с неэффективностью традиционных подходов к решению задач отбора признаков были предложены различные эволюционные методы и методы роевого интеллекта [1].

Среди метаэвристик гравитационный алгоритм хорошо известен своей вычислительной эффективностью, достигаемой благодаря сбалансированному механизму между возможностями диверсификации и интенсификации. В [2] описан алгоритм бинарного гравитационного поиска для отбора признаков совместно с классификатором 1-NN; здесь переход из непрерывного пространства поиска к бинарному осуществлен с помощью V-образной функции трансформации. Полученные результаты классификации подтвердили эффективность предложенного метода.

Методы нечетких множеств и нечеткой логики широко используются для классификации данных. К достоинствам нечетких классификаторов можно отнести их хорошую интерпретируемость и отсутствие допущений, необходимых для статистической классификации [3].

Цель работы — исследовать влияние функций трансформации, применяемых в бинарном гравитационном алгоритме, на точность нечеткого классификатора.

1. Нечеткий классификатор

Пусть имеется универсум $U = (A, C)$, где $A = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ — множество входных признаков, $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\}$ — множество классов. Пусть $\mathbf{X} = x_1 \times \times x_2 \times \ldots \times x_n \in \Re^n$ — n-мерное пространство признаков. Объект u в заданном универсуме характеризуются своим вектором значений признаков. Задача классификации заключается в предсказании класса объекта u по его вектору значений признаков.

Задача отбора признаков состоит в поиске на заданном множестве признаков $\mathbf{X}$ такого их подмножества, которое при уменьшении числа признаков не приводило бы к существенному уменьшению точности классификации;

© Ходашинский И.А., Бардамова М.Б., 2018

решение представляется в виде вектора $\mathbf{S} = (s_1, s_2, \ldots, s_n)^{\mathrm{T}}$, где $s_i = 0$ означает, что i-й признак не участвует в классификации, $s_i = 1$ означает, что i-й признак используется классификатором. Для каждого подмножества признаков оценивается точность классификации.

Традиционный классификатор может быть определен как функция

$$f : \Re^n \to \{0,1\}^m,$$

где $f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}) = (h_1, h_2, \ldots, h_m)^T$, причем $h_i = 1$, а $h_j = 0$, $j = \overline{1,m}$, $i \neq j$, когда объект, заданный вектором $\mathbf{x}$, принадлежит к классу c_i; $\boldsymbol{\theta}$ — вектор параметров классификатора.

Нечеткий классификатор может быть представлен функцией, которая присваивает точке в пространстве входных признаков метку класса с вычисляемой степенью уверенности:

$$f : \Re^n \to [0,1]^m.$$

Основа нечеткого классификатора — продукционное правило следующего вида:

$$R_{ij} : \text{ЕСЛИ } s_1 \wedge x_1 = A_{1i} \text{ И } s_2 \wedge x_2 = A_{2i} \text{ И } \ldots \text{ И } s_n \wedge x_n = A_{ni} \text{ ТО class} = c_j,$$

где A_{ki} — нечеткий терм, характеризующий k-й признак в i-м правиле ($i = \overline{1,R}$); запись $s_i \wedge x_i$ указывает на наличие ($s_i = 1$) или отсутствие ($s_i = 0$) признака в классификаторе; R — число правил.

В работе класс определяется по принципу «команда победителей получает всё»:

$$\text{class} = c_{j^*}, \quad j^* = \arg\max_{1 \le j \le m} \beta_j,$$

$$\beta_j(\mathbf{x}) = \sum_{R_{ij}} \prod_{k=1}^{n} \mu_{A_{ki}}(x_k), \quad j = \overline{1,m},$$

где $\mu_{A_{ki}}(x_k)$ — значение функции принадлежности нечеткого терма A_{ki} в точке x_k.

На данных таблицы наблюдений $\{(\mathbf{x}_p; c_p), \ p = \overline{1,z}\}$, определим функцию пригодности, или меру точности классификации:

$$E(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \frac{1}{z} \sum_{p=1}^{z} \begin{cases} 1, \text{ если } c_p = \arg\max\limits_{1 \le j \le m} f_j(\mathbf{x}_p, \boldsymbol{\theta}), \\ 0 \text{ иначе.} \end{cases}$$

Проблема построения нечеткого классификатора сводится к поиску максимума указанной функции в пространстве $\mathbf{S}$ и $\boldsymbol{\theta} = (\theta^1, \theta^2, \ldots, \theta^D)$:

$$\max(E(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})), \ \theta^i \in [\theta^i{}_{\min}, \theta^i{}_{\max}], \ i = \overline{1,D},$$

где $\theta^i{}_{\min}$, $\theta^i{}_{\max}$ — нижняя и верхняя граница каждого параметра соответственно.

Для отбора признаков предлагается использовать бинарный метаэвристический гравитационный алгоритм.

2. Гравитационный алгоритм GSA_B

Гравитационный алгоритм — метаэвристический алгоритм, основанный на фундаментальных законах тяготения. Популяция, состоящая из входных векторов **S**, представляет собой систему частиц, между которыми действуют силы притяжения [4]. Сила притяжения между двумя частицами рассчитывается по модифицированному автором [4] первому закону Ньютона, учитывающему качество векторов, выражающееся в функции пригодности, и расстояние между ними. На основе равнодействующих сил для каждой частицы рассчитывается ее ускорение и скорость, затем вектор обновляется с помощью функции трансформации. Подробное описание бинарного гравитационного алгоритма представлено ниже.

На вход GSA_B подаются следующие параметры: вектор параметров термов $\boldsymbol{\theta}$, количество частиц (векторов) N, количество итераций T, начальное значение гравитационной постоянной $G(t_0)$, коэффициент точности поиска α, малая константа ε.

На первом шаге алгоритма генерируются популяции частиц — векторов **S**: $\mathbf{S}_i = (s_i^1, \ldots, s_i^{|A|})$, где $i = \overline{1, N}$, и случайным образом векторы заполняются нулями и единицами. При случайном заполнении необходима проверка популяции на частицу, содержащую только нули. Если такая частица обнаруживается, то случайно выбранный элемент становится единицей.

На втором шаге оцениваются функции пригодности частиц $E(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})$ путем построения на основе каждого вектора нечеткого классификатора.

Третий шаг — это итерационный расчет всех физических характеристик частиц согласно идее алгоритма. В начале каждой итерации обновляется значение гравитационной постоянной $G(t)$ по следующему закону:

$$G(t) = G(t_0) \cdot (\frac{t}{T})^{\alpha},$$

где t — текущая итерация.

Для вычисления массы частиц по значению фитнесс-функции ищется лучшая $best(t)$ и худшая $worst(t)$ частицы популяции:

$$best(t) = \max_{j \in \{1,\ldots,N\}} E_j(t);$$

$$worst(t) = \min_{j \in \{1,\ldots,N\}} E_j(t).$$

Масса i-й частицы $M_i(t)$ определяется в два шага. Сначала для всех частиц рассчитывается промежуточное значение $m_i(t)$:

$$m_i(t) = \frac{1 - E(\boldsymbol{\theta}, S_i) - worst(t)}{best(t) - worst(t)},$$

затем вычисляется $M_i(t)$ как нормированное значение $m_i(t)$:

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} m_j(t)}.$$

Для каждого элемента $d = \overline{1, |A|}$ вектора i рассчитывается сила тяготения к соответствующему элементу другой частицы j, где $j = \overline{1, N}$, $j \neq i$:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \cdot \frac{M_i(t) \cdot M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \cdot (s_j^d(t) - s_i^d(t)),$$

где $R_{ij}(t)$ — расстояние Хэмминга между двумя частицами.

После вычисления для всех частиц сил тяготения F_{ij}^d осуществляется поиск равнодействующей F_i:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} rand_j \cdot F_{ij}^d(t),$$

где $rand_j$ — равномерно распределенное случайное число в интервале [0, 1].

Ускорение a_i рассчитывается по второму закону Ньютона:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)}.$$

Скорость частицы V_i — последняя вычисляемая характеристика для бинарной версии гравитационного алгоритма:

$$V_i^d(t+1) = rand_i \cdot V_i^d(t) + a_i^d(t),$$

где V_i^d — скорость частицы; $rand_i$ — случайное число в интервале [0, 1].

Далее численное значение скорости частицы переводится в бинарный эквивалент для перемещения частицы с помощью одной из функций трансформации, которые будут описаны в следующем разделе. Итерация алгоритма считается оконченной после обновления элементов векторов и вычисления значений фитнесс-функции обновленной популяции. По достижении счетчиком популяций значения T алгоритм останавливается и подает на выход вектор **S** с наименьшим значением фитнесс-функции.

3. Функции трансформации

Существует два семейства функций трансформации: S-образные и V-образные; в данной работе использованы по две функции из каждого семейства.

Функция $F1$ — S-образная функция, определяющая вероятность получения в элементе s_i значения 1:

$$\text{ЕСЛИ } \left(rand < F(V_i^d(t+1))\right), \text{ ТО } s_i^d(t+1), \text{ ИНАЧЕ } s_i^d(t+1) = 0,$$

где $F(V_i^d(t+1)) = (1 + e^{-V_i^d(t+1)})^{-1}$.

Добавление в S-образную функцию коэффициента, изменяющего наклон функции, повышает ее эффективность. В функции $F2$ представлен коэффициент α, зависящий от итераций:

$$\text{ЕСЛИ}\left(rand < F(V_i^d(t+1))\right), \text{ТО } s_i^d(t+1), \text{ИНАЧЕ } s_i^d(t+1) = 0,$$

где $F(V_i^d(t+1)) = (1+e^{-\alpha V_i^d(t+1)})^{-1}$, $\alpha = t \cdot T^{-1}$, t — текущая итерация, T — максимальное число итераций.

Две следующих функции принадлежат к семейству V-образных и основываются на функции арктангенса. Функция $F3$ определяет вероятность получения в элементе s_i значения 1.

$$\text{ЕСЛИ}\left(rand < F(V_i^d(t+1))\right), \text{ТО } s_i^d(t+1), \text{ИНАЧЕ } s_i^d(t+1) = 0,$$

где $F(V_i^d(t+1)) = \left|\frac{2}{\pi}\arctan(\frac{\pi}{2} \cdot V_i^d(t+1))\right|$.

Функция трансформации $F4$ рассматривается как вероятность изменения элемента вектора на противоположное значение:

$$\begin{cases} \text{ЕСЛИ } (rand < T(V_i^d(t+1))), \text{ТО } p = 1 \\ \text{ИНАЧЕ } p = 0 \\ s_i^d(t+1) = s_i^d(t) \oplus p \end{cases},$$

где $\oplus$ обозначает логическую операцию *исключающее «ИЛИ»*, $F(V_i^d(t+1)) = \left|\frac{2}{\pi}\arctan(\frac{\pi}{2} \cdot V_i^d(t+1))\right|$.

4. Эксперимент

Эксперимент проводился по схеме кросс-валидации на десяти наборах данных из репозитория KEEL (http://keel.es/), представляющих реальные проблемы классификации в различных областях: медицине, производстве, информационной безопасности. Характеристики наборов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Описание наборов данных

Имя набора данных	Число записей	Число признаков	Число классов
magic	19020	10	2
wine	178	13	3
vehicle	846	18	4
hepatitis	80	19	2
segment	2310	19	7
ring	7400	20	2
twonorm	7400	20	2
thyroid	7200	21	3
ionosphere	351	33	2
spambase	4597	57	2

На каждой из десяти обучающих выборок бинарным гравитационным алгоритмом GSA_B найден набор признаков с лучшей точностью на обучении. Затем на каждом наборе признаков были построены классификаторы методом генерации структуры на основе экстремумов классов [5]. Усредненные по всем выборкам значения тестовой точности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты тестирования бинарного гравитационного алгоритма

Набор данных	Полный набор		F1		F2		F3		F4	
Название	$\#F_{ALL}$	$\#E_T$	$\#F_S$	$\#E_T$	$\#F_S$	$\#E_T$	$\#F_S$	$\#E_T$	$\#F_S$	$\#E_T$
magic	10	56,1	**4,1**	**70,7**	**4,1**	**70,7**	**4,1**	**70,7**	**4,1**	**70,7**
wine	13	88,2	5,9	92,6	**5,8**	**94,8**	6,8	92,2	6,2	94,5
vehicle	18	29,9	7,9	45,5	7,8	**45,6**	**4,8**	40,0	7,4	**45,6**
hepatitis	19	61,0	7,7	**87,4**	7,9	87,2	**5,3**	82,5	6,7	85,1
segment	19	78,2	10,2	85,4	9,1	**85,7**	8,8	84,1	**8,5**	**85,7**
ring	20	49,5	**1,0**	**58,6**	**1,0**	**58,6**	**1,0**	57,9	2,5	55,5
twonorm	20	96,8	19,7	**96,8**	19,9	**96,8**	17,8	96,1	**17,1**	95,8
thyroid	21	**99,3**	19,9	**99,3**	20	**99,3**	16,9	**99,3**	**14,6**	**99,3**
ionosphere	33	87,8	16,4	90,3	14,6	**90,5**	**14,5**	90,3	16,6	90,3
spambase	57	56,3	29,7	65,9	27,0	65,4	**2,7**	**70,0**	27,9	64,2

Для оценки статистической значимости различий в точности классификации и числе признаков, сформированных бинарным алгоритмом с помощью четырех функций трансформации, использован критерий знаковых рангов Уилкоксона для связных выборок. В таблице 3 приведены итоги проверки нулевой гипотезы о равенстве нулю медиан разностей между значениями числа признаков (уровень значимости равен 0,05). Жирным шрифтом выделены показатели значимости пар, для которых нулевая гипотеза отвергается.

Таблица 3

Результаты оценки статистической значимости различий в числе признаков

	F1	F2	F3	F4
F1	—	0,324	**0,017**	0,086
F2	0,324	—	**0,036**	0,635
F3	**0,017**	**0,036**	—	0,260
F4	0,126	0,635	0,260	—

Проверка нулевой гипотезы о неразличимости распределений числа признаков на уровне значимости 0,05 с помощью двухфакторного рангового дисперсионного анализа Фридмана для связных выборок не позволила отвергнуть проверяемую гипотезу (значимость равна 0,13).

В таблице 4 приведены итоги проверки нулевой гипотезы о равенстве нулю медиан разностей между значениями точности (уровень значимости равен 0,05). Жирным шрифтом выделены показатели значимости пар, для которых нулевая гипотеза отвергается.

Таблица 4

Результаты оценки статистической значимости различий в точности

	F1	F2	F3	F4
F1	—	0,528	0,128	0,310
F2	0,528	—	0,092	**0,028**
F3	0,128	0,092	—	0,735
F4	0,310	**0,028**	0,735	—

Проверка нулевой гипотезы о неразличимости распределений значений точности на уровне значимости 0,05 с помощью двухфакторного рангового дисперсионного анализа Фридмана для связных выборок позволила отвергнуть проверяемую гипотезу (значимость равна 0,043).

Указанные выше выводы приводят к следующему заключению: функция трансформации F3 предпочтительна с точки зрения формирования минимального набора признаков.

Заключение

В работе рассмотрены методы построения нечетких классификаторов с отбором признаков. Отбор признаков выполнен с помощью бинарного гравитационного алгоритма. Бинаризация произведена с помощью четырех функций трансформации. Работоспособность нечетких классификаторов, настроенных приведенными алгоритмами, проверена на 10 наборах данных из репозитория KEEL. Количество признаков, используемых классификаторами, построенными с помощью разработанных алгоритмов, значительно меньше полного количества признаков наборов данных.

В дальнейшем предполагается исследовать адаптивные способы бинаризации алгоритма, увеличить количество тестовых наборов данных и включить в цикл построения этап оптимизации нечеткого классификатора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00034а.

Список литературы

1. *Gu S., Cheng R., Jin Y.* Feature selection for high-dimensional classification using a competitive swarm optimizer // Soft Computing. 2018. Vol. 22, № 3. P. 811—822.

2. *Rashedi E., Nezamabadi-Pour H.* Feature subset selection using improved binary gravitational search algorithm // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology. 2014. Vol. 26, № 3. P. 1211—1221.

3. *Ходашинский И. А., Мех М. А.* Построение нечеткого классификатора на основе методов гармонического поиска // Программирование. 2017. № 1. С. 54—65.

4. *Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S.* GSA: A Gravitational Search Algorithm // Information Sciences. 2009. Vol. 179. P. 2232—2248.

5. *Мех М. А., Ходашинский И. А.* Сравнительный анализ применения методов дифференциальной эволюции для оптимизации параметров нечетких классификаторов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 4. С. 65—75.

В. А. Шакиров
Братский государственный университет, Братск, Россия
e-mail: mynovember@mail.ru

ОЦЕНКА ШКАЛИРУЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ЦЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКО ВЫРАЖЕННЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЛИЦА, ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ

Принятие решений по системным проблемам затруднено следующими характерными для них свойствами: слабая структурированность, конфликтность, неопределенность, неоднозначность, наличие риска, многоаспектность и др. [1]. Применение методов системного анализа позволяет на основании результатов опроса лица, принимающего решение (ЛПР), формализовать его предпочтения и определить рациональное решение. Однако существуют проблемы, в отношении которых ЛПР затрудняется точно выразить свои предпочтения. Для учета влияния неуверенности ЛПР в своих ответах при сравнении критериев и альтернатив проводят анализ чувствительности полученных многокритериальных оценок к изменениям структуры предпочтений ЛПР [2; 3]. Другим способом учета неопределенности предпочтений ЛПР является использование интервальных и нечетких оценок при его ответах.

Широкое применение для принятия решений получили методы многокритериальной теории полезности MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), MAVT (Multi-Attribute Value Theory) [2; 3]. Для принятия решений в условиях неполной и неточной информации методы MAVT, MAUT были расширены до нечетких версий [4—8]. В работах [7; 8] автором предложен подход к принятию решений на основе многокритериальной теории полезности в условиях неточно выраженных предпочтений ЛПР в отношении ценности оценок по критериям и важности критериев. Одна из особенностей подхода — необходимость решения системы линейных уравнений с нечеткими коэффициентами. Рассмотрим методику формирования и решения таких систем.

Согласно методу MAVT ценность альтернативы с оценками по критериям y_1, y_2, …, y_n определяется с помощью многокритериальной функции ценности, которая имеет аддитивный вид, при выполнении условий-аксиом [2; 3]:

$$v(y) = v(y_1, y_2, ..., y_n) = \sum_{i=1}^{n} k_i v_i(y_i), \quad (1)$$

© Шакиров В. А., 2018

где $v_i(y_i)$ — однокритериальная функция ценности для критерия i; k_i — шкалирующий коэффициент.

Для учета неопределенности ЛПР при обработке его ответов можно использовать нечеткие числа, тогда (1) примет вид:

$$\tilde{v}(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, ..., \tilde{y}_n) = \sum_{i=1}^{n} \tilde{k}_i \tilde{v}_i(\tilde{y}_i). \quad (2)$$

Рассмотрим составляющие функции (2). Введем обозначения для оценок по критериям y и ценности оценок по критериям v. Верхний индекс W соответствует большей, а B — меньшей оценке, если ЛПР стремится получить меньшие оценки по критерию. И наоборот: верхний индекс W соответствует меньшей, а B — большей оценке, если ЛПР стремится получить большие оценки по критерию (*worst* — худшая, *best* — лучшая оценки). Верхние индексы означают: R — правую границу ценности (большее значение); L — левую границу ценности (меньшее значение); C (*core*, *center*) соответствует ядру нечеткой ценности.

Построение нечеткой однокритериальной функции ценности (НОФЦ) $\tilde{v}_i(\tilde{y}_i)$ ведется по пяти опорным точкам [7; 8]. Лучшей оценке y_i^1 по критерию i присваивается ценность $v_i(y_i^1) = 1$, худшему значению y_i^0 присваивается $v_i(y_i^0) = 0$. Далее привлекается критерий j для поиска нечеткой оценки, субъективно средней по ценности в интервале от y_i^0 до y_i^1. На интервале от $[y_i^0, y_i^1]$ определяются средняя по ценности точка $y_i^{0,5C}$, возможные граничные значения $y_i^{0,5W}$, $y_i^{0,5B}$. Таким образом, от ЛПР будет получена нечеткая треугольная оценка с функцией принадлежности $f_\Delta(y_i, y_i^{0,5W}, y_i^{0,5C}, y_i^{0,5B})$. На рисунке 1 представлена НОФЦ, описанная треугольными функциями принадлежности.

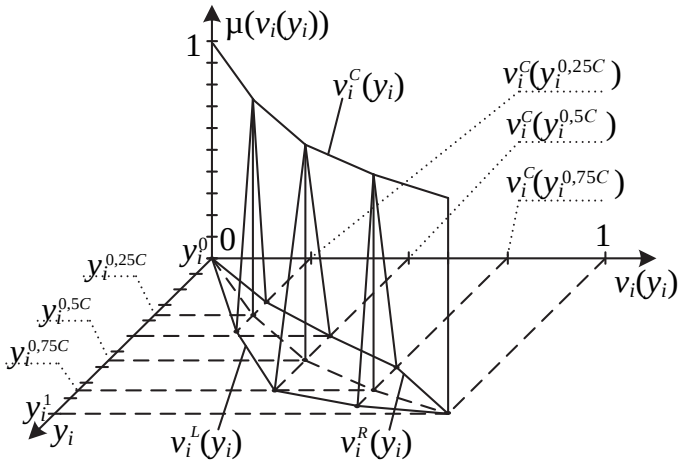


Рис. 1. Нечеткая однокритериальная функция ценности, образованная треугольными функциями принадлежности $f_\Delta(y_i, y_i^{0,5W}, y_i^{0,5C}, y_i^{0,5B})$

НОФЦ устанавливает нечеткую ценность критериальным оценкам. Оценки по критериям могут быть точными или выражаться нечеткими числами.

Функции принадлежности образов при нечетком отображении точной оценки или нечеткой оценки отличаются от треугольных, однако незначительно [7], поэтому можно использовать следующие выражения.

В случае, если оценка по критерию точная, y_i^k:

$$\tilde{v}_i(y_i^k) = f_\Delta(v_i, v_{i0}^L(y^k), v_{i1}^C(y^k), v_{i0}^R(y^k)).$$

В случае, если оценка по критерию описывается нечетким числом, $\tilde{y}_i = f_\Delta(y_i, y_i^W, y_i^C, y_i^B)$:

$$\tilde{v}_i(\tilde{y}_i) = f_\Delta(v_i, v_{i0}^L(y_i^W), v_{i1}^C(y_i^C), v_{i0}^R(y_i^B)). \quad (3)$$

После построения однокритериальных функций ценности необходимо провести определение шкалирующих коэффициентов. Для составления системы уравнений требуется установить равноценные альтернативы. При определении альтернатив равной ценности ЛПР может испытывать затруднения в установлении точных оценок. Целесообразно дать возможность указать ЛПР нечеткую оценку [7]. На рисунке 2 представлен этап определения альтернативы А, равной по ценности альтернативе В. Эта пара альтернатив отличается оценками только по критериям *i*, *j*, оценки по остальным критериям зафиксированы на худшем уровне. ЛПР задает нечеткую оценку по критерию *i*.

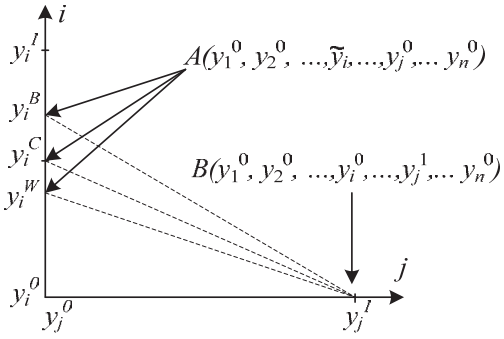


Рис. 2. Нечеткое задание равноценных альтернатив

В результате может быть составлено уравнение:

$$\tilde{k}_j = \tilde{k}_i \tilde{v}_i(\tilde{y}_i^j), \quad (4)$$

где $\tilde{k}_i$, $\tilde{k}_j$ — нечеткие шкалирующие коэффициенты; $\tilde{y}_i^j$ — оценка ЛПР по критерию *i*, полученная при сопоставлении с критерием *j*; $\tilde{v}_i(\tilde{y}_i^j)$ — образ (3) при нечетком отображении нечеткой критериальной оценки.

Уравнения вида (4) для *n*-1 пар критериев устанавливают значения нечетких шкалирующих коэффициентов с учетом требования равенства 1 их суммы. Для упрощения системы уравнений предлагается на первом этапе упорядочить критерии по предпочтению. Наиболее важному критерию присваивается индекс X_1, критерий назначается опорным для сравнения с другими критериями, и может быть получена следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \tilde{k}_2 = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_i^2), \\ \tilde{k}_3 = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^3), \\ ..., \\ \tilde{k}_n = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^n), \\ \sum_{i=1}^{n} \tilde{k}_i = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения системы нечетких линейных уравнений распространение получили подходы, основанные на представлении ее в виде множества систем интервальных уравнений, получаемых при разбиении нечетких множеств по α-уровням [9; 10]. Так, множеством уровня α нечеткого множества A в X называют множество, составленное из элементов $x \in X$, степени принадлежности которых нечеткому множеству A не меньше числа α [11].

$$A_\alpha = \{x \mid x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

Таким образом, можно получить множество интервальных систем линейных алгебраических уравнений (ИСЛАУ):

$$\begin{cases} \overline{k}_{2,\alpha} = \overline{k}_{1,\alpha} \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}_{1,\alpha}^2), \\ \overline{k}_{3,\alpha} = \overline{k}_{1,\alpha} \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}_{1,\alpha}^3), \\ ..., \\ \overline{k}_{n,\alpha} = \overline{k}_{1,\alpha} \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}_{1,\alpha}^n), \\ \sum_{i=1}^{n} \overline{k}_{i,\alpha} = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где $\alpha \in [0;1]$.

Объединенное множество интервальных решений каждой ИСЛАУ (6) K_α, $\alpha \in [0;1]$ включает множество «точечных» решений k_α, полученных из «точечных» линейных систем вида:

$$\begin{cases} k_{2,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha}(y_{i,\alpha}^2), \\ k_{3,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha}(y_{1,\alpha}^3), \\ ..., \\ k_{n,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha}(y_{1,\alpha}^n), \\ \sum_{i=1}^{n} k_{i,\alpha} = 1, \end{cases}$$

где $v_{1,\alpha}(y_{1,\alpha}^n) \in [v_{1,\alpha}^L(y_{1,\alpha}^{nW}); v_{1,\alpha}^R(y_{1,\alpha}^{nB})]$, $k_{n,\alpha} \in [k_{n,\alpha}^L; k_{n,\alpha}^R]$.

Прямое вычисление и описание множеств решений ИСЛАУ оказывается, как правило, трудоемким, а часто просто невозможным [12].

В современном интервальном анализе популярные способы оценивания — внешнее и внутреннее оценивание [12]. Согласно [12], при внешнем интервальном оценивании ищется интервальный вектор (брус), объемлющий множество решений. Для многокритериальной оценки альтернатив в условиях неопределенности предпочтений ЛПР представляет интерес именно внешнее оценивание множества решений ИСЛАУ. Результат внешнего оценивания множества решений ИСЛАУ вида (6) устанавливает интервалы изменения шкалирующих коэффициентов в условиях неопределенности предпочтений ЛПР. Этот результат сделает возможным определение нечетких многокритериальных оценок альтернатив по выражению (2).

Следует учесть, что внешняя оценка ИСЛАУ особенно просто находится в случаях, когда имеет специальную форму [12]. Форма системы уравнений (6) также позволяет без применения специальных методов провести внешнее оценивание множества решений ИСЛАУ. Рассмотрим предлагаемый подход.

Определим левую и правую границы шкалирующего коэффициента опорного критерия $X1$. Подставив в последнее выражение системы (6) правые части остальных уравнений, получим:

$$\overline{k}_{1,\alpha} + \overline{k}_{1,\alpha}\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha}) + \overline{k}_{1,\alpha}\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha}) + ... + \overline{k}_{1,\alpha}\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha}) = 1. \qquad (7)$$

Алгебраические свойства классической интервальной арифметики существенно ограничены: все интервалы с ненулевой шириной не имеют обратных элементов, отсутствует дистрибутивность умножения (и деления) относительно сложения и вычитания [12]. Нет возможности переносить члены из одной части уравнения в другую и — из-за отсутствия дистрибутивности — приводить подобные члены [12]. Поэтому даже элементарные уравнения с одной неизвестной средствами классической интервальной арифметики не всегда могут быть получены [12]. Так, решение уравнения (7) средствами классической интервальной арифметики получить нельзя, поскольку операции сложения и умножения интервалов в левой части приводят к расширению границ, а в правой части уравнения — вырожденный интервал [1;1].

Расширение классической интервальной арифметики — полная арифметика Каухера. Элементами полной интервальной арифметики Каухера являются пары вещественных чисел $[a^L, a^R]$, не обязательно связанных соотношением $a^L \le a^R$ [12].

Полная арифметика Каухера обладает рядом свойств [12]: например, при совпадении знаков интервалов при ее использовании выполняется свойство дистрибутивности. Применяя его, получим:

$$\overline{k}_{1,\alpha}(1 + \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha}) + \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha}) + ... + \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})) = 1.$$

Проведем операцию внутреннего деления:

$$\overline{k}_{1,\alpha^*} = \left[k^L_{1,\alpha^*}, k^R_{1,\alpha^*}\right] =$$

$$= \left| \frac{1}{1 + v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}) + v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}) + ... + v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})}, \frac{1}{1 + v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha}) + v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha}) + ... + v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})} \right|.$$

Зная $\overline{k}_{1,\alpha^*}$, можно определить остальные коэффициенты системы (6):

$$\overline{k}_{2,\alpha^\circ} = \left[k^L_{2,\alpha^\circ}, k^R_{2,\alpha^\circ}\right] = \left[k^L_{1,\alpha^*}, k^R_{1,\alpha^*}\right] \cdot \left[v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}), v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha})\right] =$$

$$= \left| \frac{v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha})}{1 + v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}) + v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}) + \ldots + v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})}, \frac{v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha})}{1 + v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha}) + v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha}) + \ldots + v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})} \right|;$$

$$\overline{k}_{3,\alpha^\circ} = \left[k^L_{3,\alpha^\circ}, k^R_{3,\alpha^\circ}\right] = \left[k^L_{1,\alpha^*}, k^R_{1,\alpha^*}\right] \cdot \left[v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}), v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha})\right] =$$

$$= \left| \frac{v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha})}{1 + v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}) + v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}) + \ldots + v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})}, \frac{v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha})}{1 + v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha}) + v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha}) + \ldots + v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})} \right|;$$

$$\ldots$$

$$\overline{k}_{n,\alpha^\circ} = \left[k^L_{n,\alpha^\circ}, k^R_{n,\alpha^\circ}\right] = \left[k^L_{1,\alpha^*}, k^R_{1,\alpha^*}\right] \cdot \left[v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha}), v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})\right] =$$

$$= \left| \frac{v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})}{1 + v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}) + v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}) + \ldots + v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})}, \frac{v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})}{1 + v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha}) + v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha}) + \ldots + v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})} \right|.$$

Определенные по вышеприведенным выражениям интервалы $\overline{k}_{2,\alpha^\circ}$, $\overline{k}_{3,\alpha^\circ}$ …, $\overline{k}_{n,\alpha^\circ}$ у́же границ возможных решений ИСЛАУ (6) для этих коэффициентов. Полученные интервалы лишь соответствуют решению, определяющему возможные границы $\overline{k}_{1,\alpha^*}$. Для обозначения интервалов, соответствующих возможным границам, используем символ *. Соответствующие значения других коэффициентов обозначим индексом °.

Для определения границ возможных решений для коэффициентов $\overline{k}_{2,\alpha^\circ}$, $\overline{k}_{3,\alpha^\circ}$,…, $\overline{k}_{n,\alpha^\circ}$ вернемся к ИСЛАУ (6) и проведем ее анализ.

Интервалы ценности $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$ влияют на границы интервалов шкалирующих коэффициентов $\overline{k}_{1,\alpha}$, $\overline{k}_{2,\alpha}$, $\overline{k}_{3,\alpha}$ …, $\overline{k}_{n,\alpha}$. Так, при определении левой границы возможных решений $\overline{k}_{1,\alpha^*}$ использовались все левые границы интервалов $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$, а для определения правой — все правые границы $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$.

Границы возможных решений каждого из шкалирующих коэффициентов $\overline{k}_{1,\alpha^*}$, $\overline{k}_{2,\alpha^*}$, $\overline{k}_{3,\alpha^*}$ …, $\overline{k}_{n,\alpha^*}$ могут быть получены при определенных граничных значениях оценок ценности $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$. Например, решение ИСЛАУ (6), определяющее левую границу $\overline{k}_{2,\alpha^*}$, достигается, когда оценка ценности $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha})$ принимает значение своей левой границы, а оценки ценности $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, …, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$ — значения своих правых границ; и наоборот — для правой границы $\overline{k}_{2,\alpha^*}$. К такому выводу приводит анализ выражения (7).

С учетом отмеченных особенностей необходимо модифицировать ИСЛАУ (6) для определения границ возможных решений $\overline{k}_{2,\alpha^*}$:

$$\begin{cases} \overline{k}_{2,\alpha^*} = \overline{k}_{1,\alpha\circ}\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha}), \\ \overline{k}_{3,\alpha\circ} = \overline{k}_{1,\alpha\circ}\, dual\, \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha}), \\ ..., \\ \overline{k}_{n,\alpha\circ} = \overline{k}_{1,\alpha\circ}\, dual\, \overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha}), \\ \overline{k}_{2,\alpha^*} + \sum\limits_{i\in I/2} \overline{k}_{i,\alpha\circ} = 1. \end{cases} \qquad (8)$$

Операция дуализации меняет местами граничные значения оценок ценности $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha})$, …, $\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})$ для требуемой комбинации граничных оценок этих интервалов.

Вновь используем свойство дистрибутивности:

$$\overline{k}_{1,\alpha\circ}(1+\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^2_{1,\alpha}) + dual\,\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^3_{1,\alpha}) + ... + dual\,\overline{v}_{1,\alpha}(\overline{y}^n_{1,\alpha})) = 1.$$

Проводим операцию внутреннего деления:

$$\overline{k}_{1,\alpha\circ} = \left[k^L_{1,\alpha\circ}, k^R_{1,\alpha\circ}\right] =$$

$$= \left| \frac{1}{1+v^L_{1,\alpha}(y^{2W}_{1,\alpha}) + v^R_{1,\alpha}(y^{3B}_{1,\alpha}) + ... + v^R_{1,\alpha}(y^{nB}_{1,\alpha})}, \frac{1}{1+v^R_{1,\alpha}(y^{2B}_{1,\alpha}) + v^L_{1,\alpha}(y^{3W}_{1,\alpha}) + ... + v^L_{1,\alpha}(y^{nW}_{1,\alpha})} \right|.$$

Зная $\overline{k}_{1,\alpha\circ}$, можно определить остальные коэффициенты системы (8). Полученные результаты можно отразить на плоскости двух шкалирующих коэффициентов $\overline{k}_{1,\alpha}$, $\overline{k}_{2,\alpha}$ (рис. 3).

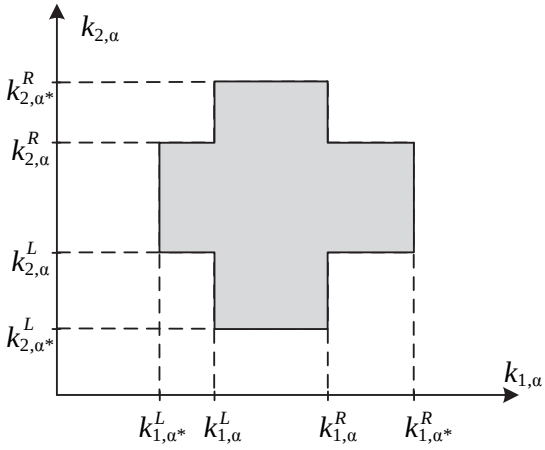


Рис. 3. Интервалы изменения коэффициентов $\overline{k}_{1,\alpha}$, $\overline{k}_{2,\alpha}$

Действуя по аналогии, можно определить все шкалирующие коэффициенты системы (6). Объединением решений, полученных на α-уровнях, можно найти решение системы нечетких линейных уравнений (5).

Итак, предложена методика для определения шкалирующих коэффициентов многокритериальной функции ценности аддитивного вида при использовании нечетких оценок для учета неопределенности предпочтений ЛПР. Применение методики позволяет определить параметры многокритериальной нечеткой функции ценности и получить нечеткие многокритериальные оценки альтернатив.

Список литературы

1. *Новосельцев В.И.* Теоретические основы системного анализа. М. : Майор, 2006.

2. *Кини Р.Л.* Размещение энергетических объектов: выбор решений / пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1983.

3. *Кини Р. Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / пер. с англ. ; под ред. И.Ф. Шахнова. М. : Радио и связь, 1981.

4. *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М. : Радио и связь, 1989.

5. *Яцало Б.И., Грицюк С.В., Мирзеабасов О.А.* Учет неопределенностей в рамках многокритериального анализа решений с использованием концепции приемлемости // Управление большими системами. Вып. 32. М. : ИПУ РАН, 2011. С. 5—30.

6. *Yatsalo B., Didenko V., Gritsyuk S., Sullivan T.* Decerns: a Framework for Multicriteria Decision Analysis // International Journal of Computational Intelligence Systems. 2015. Vol. 8, №3. P. 467—489.

7. *Шакиров В.А.* Принятие решений в условиях нечетких предпочтений на основе многокритериальной теории ценности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. №3. С. 48—55.

8. *Шакиров В.А.* Поддержка принятия решений в условиях неточно выраженных предпочтений на основе многокритериальной теории полезности // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения : матер. I Всерос. науч.-практ. конф. Ульяновск, 2017. С. 194—204.

9. *Buckley J.J., Qu Y.* Solving Systems of Linear Fuzzy Equations // Fuzzy Sets and Systems. 1991. Vol. 43. P. 33—43.

10. *Vroman A., Deschrijver G., Kerre E.E.* Solving systems of linear fuzzy equations by parametric functions // IEEE Transactions On Fuzzy Systems. 2007. Vol. 15, №3. P. 370—384.

11. *Орловский С.А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М. : Наука, 1981.

12. *Шарый С.П.* Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск : XYZ, 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 8

Пленарные доклады

Еремеев А.П., Голенков В.В. Разработка интегрированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени для мониторинга и управления сложными технологическими объектами 10

Колесников А.В. Функциональные гибридные интеллектуальные системы визуального управления 18

Осипов Г.С. Целенаправленное поведение коалиции когнитивных агентов 81

Плесневич Г.С. Вычисление ответов на запросы к базам фактов для онтологий в булевом нечетком расширении интервальной логики Аллена 86

Тарасов В.Б. Биполярные шкалы, многозначные семантики и решетки модальностей в моделировании когнитивных агентов 98

Рыбина Г.В. Особенности приобретения, представления и обработки темпоральных знаний для автоматизированного построения баз знаний в динамических интегрированных экспертных системах 115

Фоминых И.Б., Алексеев Н.П. Об исчислении эмоций 123

Ярушкина Н.Г. Анализ слабоструктурированных текстов на основе нечетких онтологий 133

***Секция 1.* Методы и модели гибридных и интегрированных интеллектуальных систем**

Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А. Гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе извлечения событий из потоков разнородных данных 140

Березкин Д.В. Моделирование и прогнозирование конфликтного поведения личности средствами гибридных интеллектуальных информационных систем 147

Березкин Д.В., Терехов В.И., Черненький И.М. Методы гибридного искусственного интеллекта в задачах обработки, анализа и визуализации потоков больших данных 155

Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В., Сысоев А.С. Ремоделирование динамических объектов переменной структуры 160

Блюмин С.Л., Погодаев А.К., Приньков А.С., Хабибуллина Е.Л. Обработка и классификация текста на естественном языке с помощью гибридных интеллектуальных информационных систем 167

Виноградов Г.П., Кирсанова Н.В., Колегов А.В. Принятие интуитивных решений в гибридных интеллектуальных системах 176

Долгий А.И., Колоденкова А.Е., Ковалев С.М. Проблемы и методы слияния разнородных данных в гибридных интеллектуальных системах 181

Долженкова М.Л., Чистяков Г.А. Метод построения композиционных моделей логических вычислений 187

Каганов Ю.Т., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е. Гибридизация метаграфового подхода и подхода на основе символической динамики для разработки интеллектуальных информационных систем 192

Мунтян Е.Р. Использование гибридных подходов для представления знаний 199

Рыбина Г.В., Блохин Ю.М., Таракчян Л.С. Интеллектуальное планирование и управление процессами построения интегрированных экспертных систем различной архитектурной типологии: некоторые аспекты 203

Секция 2. **Интеллектуальные системы в науке, образовании, медицине, экономике и промышленности**

Барановский Н.В. Фундаментальная база системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки на лесопокрытые территории с учетом вероятности возникновения лесного пожара 211
Барановский Н.В., Янкович Е.П., Каранина С.Ю., Каранин А.В., Беликова М.Ю. Вероятностная модель оценки лесной пожарной опасности от гроз: этап проектирования ГИС-системы 215
Барзенков А.В., Румовская С.Б. Применение концептуальной модели искусственных гетерогенных коллективов к сложной задаче диагностики острого панкреатита 219
Бенько И.А., Колесников А.В., Литвин А.А., Румовская С.Б. Гибридная интеллектуальная система дифференциальной диагностики заболеваний поджелудочной железы (на примере рака и панкреатита) 228
Бурдо Г.Б., Сорокин А.Ю., Стоянова О.В. Принятие решений в гибридных автоматизированных системах управления качеством наукоемких машиностроительных изделий 236
Васильева О.В., Кияев В.И. Структура алгоритма формирования эффективного расписания работы с грузами в морском порту на основе мультиагентных технологий 244
Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н. Управление образовательными проектами с использованием трансдисциплинарного подхода 249
Колесников А.В., Листопад С.В., Барзенков А.В., Бенько И.А., Кузин С.А. Моделирование гетерогенного конструирования коллективных решений при размещении объектов распределенной генерации электроэнергии 257
Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Поддержка принятия решений в интеллектуальной системе «Выбор+» 266
Новикова Г.М. Гибридная интеллектуальная система в системе менеджмента качества организации 274
Новикова Г.М., Янко Ю.Д. Интеллектуальная среда для системы голосования как инструмент поддержки и принятия коллективных решений 278
Новицкая Ю.В., Семенов Е.И., Гаврилов А.В. Гибридная архитектура системы мониторинга умной учебной лаборатории 281
Романов А.А., Тимина И.А. Обзор методов оценки трудоемкости производства ... 288
Румовская С.Б., Кириков И.А., Бенько И.А. Исследование явлений и процессов принятия коллективных решений при диагностике артериальной гипертензии 295
Румовская С.Б., Литвин А.А., Молодченков А.И., Зубрихина М.О. Исследование сложной задачи диагностики злокачественного новообразования поджелудочной железы 303
Солдатов С.А. Практические аспекты построения комплекса информационно-программных средств управления высокотехнологичным оборудованием цифрового машиностроительного производства 312
Ширяев А.И., Нехаев И.Н. Двухэтапный метод классификации писем для решения задачи технической поддержки клиентов 317

Секция 3. **Многоагентные системы, синергетический и роевой искусственный интеллект, распознавание образов, интеллектуальная робототехника**

Аверкин А.Н., Ярушев С.А. Гибридная модель прогнозирования на основе глубинных нейронных сетей и когнитивного моделирования 323
Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е. Показатели свойств интеллектуальных систем распознавания образов пространственно-временных полей 330
Захаров А.А., Жизняков А.Л. Разработка метода визуального внимания на основе структурного комплексирования разнородных признаков цифровых изображений 337
Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Мультиагентное моделирование и структурная оптимизация материальных потоков многоассортиментного перерабатывающего производства 341
Краснов А.Е., Надеждин Е.Н., Никольский Д.Н., Репин Д.С. Концепция программного комплекса обнаружения DDoS-атак на основе интеллектуального анализа сетевого трафика 349
Кулик Б.А., Фридман А.Я. Интеграция технологий логико-семантического анализа и классификации на основе отношений с упорядоченными значениями атрибутов 355
Сараев П.В., Полозова Ю.Е. Перспективы применения дуальнопараметрических нейронных сетей в задачах обработки и анализа данных 363
Тарачков М.В., Ширкин А.Е., Перминов И.К. Разработка элементов системы управления антропоморфным роботом АР-601 368
Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивная категоризация в ситуационном управлении 374
Ширкин А.Е., Тарачков М.В., Перминов И.К. Распознавание образов автономным роботом торгового зала 382

Секция 4. **Нечеткие модели, онтологии, мягкие и интеллектуальные вычисления**

Арефьев И.Б., Коровяковский Е.К. Логико-рефлексивный подход в оценке состояния объекта управления средствами геометрических представлений 388
Григорьев А.В. Семиотическая концептуальная модель предметной области как основа инструментальной среды для построения интеллектуальных САПР 395
Гуськов Г.Ю., Наместников А.М., Ярушкина Н.Г. Формирование метрик для нечеткой кластеризации репозитория программных проектов на основе их семантического и структурного сходства 407
Мышев А.В. Вычислительный интеллект в рамках парадигмы информационной модели нейросети нейрона 414
Павлов А.В. К вопросу классических механизмов квантово-подобных когнитивных феноменов: феномен «Линда» 422
Тимина И.А., Романов А.А. Исследование методов анализа временных рядов для разработанного алгоритма прогнозирования 429
Трембач В.М., Тельнов Ю.Ф., Данилов А.В. Формирование и формализация концептов — представлений действительности в организационно-технических системах с простой моделью целенаправленного поведения 434
Тягунов О.А. Об одной задаче оптимизации программных законов управления исполнительного уровня интеллектуальных автономных мобильных роботов 440

Филиппов А.А., В.С.Мошкин, Ярушкина Н.Г. Построение онтологии предметной области на основе анализа содержимого wiki-ресурсов 442
Ходашинский И.А., Бардамова М.Б. Исследование эффективности бинарного гравитационного алгоритма при построении нечетких классификаторов с отбором признаков 448
Шакиров В.А. Оценка шкалирующих коэффициентов многокритериальной функции ценности в условиях нечетко выраженных предпочтений лица, принимающего решения 455

Научное издание

ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции
с международным участием

14—19 мая
Светлогорск, Калининградская область

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова

Редакторы *Н. Н. Мартынюк, Л. Г. Ванцева*
Корректоры *Н. Н. Генина, Е. В. Владимирова*
Компьютерная верстка *Л. В. Миловидовой*

Подписано в печать 27.04.2018 г.
Формат 70×100 $^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 38,0
Тираж 1000 экз. (1-й завод 120 экз.). Заказ 113

Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
236022, г. Калининград, ул. Гайдара, 6