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
АССОЦИАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НАНО-БИО-ИНФО-КОГНО-СОЦИОТЕХНОЛОГИЙ

ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием
6—11 июня
Светлогорск, Калининградская область

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

Издательство
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
2016

УДК 004.8
ББК 32.813я73
Г461

Издание осуществлено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 16-07-20278 г.

Г461 **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. — 458 с.

ISBN 978-5-9971-0409-2

Публикуются доклады, представленные на III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГиСИС-2016), проведенной Балтийским федеральным университетом им. И. Канта в Светлогорске Калининградской области 6—11 июня 2016 г.

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

УДК 004.8
ББК 32.813я73

ISBN 978-5-9971-0409-2

© БФУ им. И. Канта, 2016

Программный комитет

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

Сопредседатель — *С.М. Ковалев*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Ростов-на-Дону, РГУПС).

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, MPI),

А.Н. Борисов, д-р техн. наук, проф. (Латвийская Республика, Рига, РТУ),

Ю.Р. Валькман, д-р техн. наук, проф. (Украина, Киев, МНУЦ ИТ и С),

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, МЭИ),

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),

А. Чаплинскас, д-р техн. наук, проф. (Литовская Республика, Вильнюс, ВУ),

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.А. Шпилевой*, канд. физ.-мат. наук, доц. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта).

Заместители председателя:

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

М.П. Савченко, канд. физ.-мат. наук, доц. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта),

А.А. Меркулов председатель правления (Российская Федерация, Калининград, НБИКС).

Члены организационного комитета:

С.Б. Румовская, программист 1-й категории (Российская Федерация, Калининград, КФ ФИЦ ИУ РАН),

А.В. Барзенков, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта),

В.И. Данишевский, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта),

А.В. Бабич, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта),

К.В. Суворов, асп. (Российская Федерация, Калининград, БФУ им. И. Канта),

А.Е. Колодин, асп. (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.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Российская ассоциация искусственного интеллекта, Российская ассоциация нечетких систем и мягких вычислений, Ассоциация инновационных предприятий нано-био-инфо-когно-социотехнологий Калининградской области при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проводят с 6 июня по 11 июня 2016 г. в Светлогорске Калининградской области III Всероссийскую Поспеловскую конференцию с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» — ГИСИС'2016.

Первый симпозиум успешно прошел с 29 июня по 2 июля 2012 г. До начала второго симпозиума в 2014 г. изменилось его название — он стал носить имя Поспелова, основателя Российской ассоциации искусственного интеллекта. Д. А. Поспелов выделил задачу моделирования коллективного принятия решений как одну из десяти «горячих точек» в исследованиях по искусственному интеллекту, он один из основателей когнитивной компьютерной графики — фундаментального направления визуализации принятия решений. Д. А. Поспелов утверждал, что первая работа Калининградской школы по гибридному моделированию морского рыбного порта, опубликованная в 1983 г., опередила мировой уровень развития искусственного интеллекта на 10 лет, и оказался прав. На сегодняшний день мы применили идеи гибридного и синергетического искусственного интеллекта в биопроизводстве, судостроении, транспортной логистике, машиностроении и медицинской диагностике.

На втором симпозиуме принято и поддержано решение о проведении с 2016 г. уже Всероссийской Поспеловской конференции, и мы рады видеть вас, дорогие участники, на Балтийском побережье России, в Янтарном крае. Нашим гостеприимным домом в очередной раз стал Балтийский федераль-

ный университет им. И. Канта, где на кафедре телекоммуникаций Физико-технического института расположена «штаб-квартира» Калининградской школы гибридного и синергетического искусственного интеллекта и проводится семинар «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы».

Несмотря на актуальность вопроса научной картины мира, общепринятой сейчас в информатике вообще и искусственном интеллекте в частности, с лета прошлого года наши интересы сместились к виртуальным гетерогенным коллективам для поддержки принятия решений визуального управления — искусственных интеллектуальных гетерогенных систем с когнитивной составляющей, моделирующих работу коллективного интеллекта, принимающего решения, в смысле Г. Гарднера, члены которых — виртуальные интеллектуальные аватары (двух- или трехмерные образы экспертов и лица, принимающего решения), процедуры взаимодействия между которыми в виртуальном мире моделируются методами и средствами социального программного обеспечения в смысле Р. Дж. Парика. В таких коллективах средства вычислительной техники не просто формируют среду для общения, виртуальные эксперты принимают непосредственное участие в решении возникающих перед коллективом задач, используются средства когнитивной компьютерной графики, визуального мышления и визуального управления.

Гибридные и синергетические интеллектуальные системы, о которых расскажут участники конференции, по своим потенциальным возможностям способны решать многие проблемы науки и практики искусственного интеллекта. Экспериментально доказано, что они справляются с разнообразием информации в естественных гетерогенных системах, их функционирование релевантно процессам индивидуального и коллективного решения сложных задач (проблем), их основная парадигма — сотрудничество взаимодополняющих друг друга моделей для получения выгоды, качества решений которого не удается получить на конкурирующих моделях.

Однако информатика еще не завершила выработку принципов, переводящих создание гибридов из уникальной ремесленной мастерской в проектно-конструкторскую деятельность, заметна малочисленность конкурирующих методологий гибридизации и неразвитость технологий гибридизации и инструментальных средств поддержки. Видна низкая востребованность гибридизации практикой из-за чрезмерной концентрации усилий на автоматизации задач пассивных фаз управления: учета, контроля, реже анализа, нормирования, прогнозирования и непонимание актуальности автоматизированного решения сложных задач организации, планирования и регулирования. Обо всем этом и пойдет речь.

Предлагаемый вашему вниманию сборник материалов составлен из докладов участников III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГИСИС'2016). К пленарным отнесены материалы программного комитета конференции, другие доклады, обсуждения, дискуссии и круглые столы 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», «Нечеткие модели, онтологии, мягкие и интеллектуальные вычисления».

От имени программного комитета хочется пожелать участникам конференции плодотворного обмена мнениями, новых и интересных и полезных результатов.

А. В. Колесников,
председатель программного комитета,
д-р техн. наук, проф.,
проф. кафедры телекоммуникаций,
Физико-технического института БФУ им. И. Канта

А. В. Колесников[1], С. В. Листопад[2]
БФУ им. И. Канта, Калининградский филиал ФИЦ ИУ РАН, Россия
e-mail: [1]avkolesnikov@yandex.ru, [2]ser-list-post@yandex.ru

КОНЦЕПТУАЛЬНО-ВИЗУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ВИРТУАЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОЛЛЕКТИВОВ, ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Введение

Гибридные интеллектуальные системы анонсированы в 1994—1995 гг. Л. Медскером (L. Medsker). В 2009—2012 гг. И. Б. Фоминых предложил формализм гибридной интеллектуальной системы как комбинации темпоральных логических моделей и инженерии образов, рассмотрев нейроэкспертные системы с синергетическим взаимодействием образных и символьно-логических механизмов принятия решения. Таким образом, он еще раз подтвердил, что именно сочетание естественного и визуального языков в логико-математических и визуально-пространственных, правосторонних рассуждениях, соответственно, сочетание языковой и визуальной коммуникации над проблемами, релевантно феномену человеческого мышления.

Настоящая работа имеет целью повысить качество визуального управления за счет разработки нового класса интеллектуальных информационных систем — виртуальных гетерогенных коллективов с гетерогенным визуальным полем, имитирующих сотрудничество, относительность и дополнительность коллективного интеллекта для поиска решений на символьных и визуальных языках. Фундаментальный аспект этой проблематики — базовые ролевые визуальные модели представления категориального ядра «вещь — свойство — отно-

© Колесников А. В., Листопад С. В., 2016

шение» для моделирования состояния объекта и процесса принятия коллективных решений, коллективного интеллекта субъекта визуального управления. Это требует переосмысления и развития концептуально-визуального базиса гибридизации в информатике.

1. Коллективный интеллект: выработка и принятие решений

Есть задачи, с которыми достаточно хорошо справится один человек. Но есть не меньше проблем, которые могут быть эффективно решены только коллективными усилиями группы экспертов. Простейшая форма организации коллективов людей — широко распространенные на практике рабочие совещания за круглым столом. Их цель — выявление противоречий и решение сложных задач (проблем). Чем глубже дискуссия за круглым столом, тем острее обнажаются противоречия и тем продуманнее и согласованнее решения. На время совещания в компании организуется новое виртуальное структурное подразделение — временный творческий коллектив специалистов, естественная гетерогенная система [1—3].

Круглые столы проводятся в форме организованных мероприятий коллективного интеллекта: «планерок», «селекторных и диспетчерских совещаний», «ученых и военных советов», «жюри», «советов главного конструктора», «коллегий министерства» и т. п. Они решают сложные задачи, могут работать на постоянной или временной основе и включают два ЛПР и экспертов.

Нами разработаны «модель принятия коллективных решений в малых группах» [1] и «модель коллектива виртуальных экспертов» [4], исследованы различия индивидуального и коллективного интеллекта [1], выявлены эффекты и свойства, присущие коллективному принятию решений [5].

Вторая модель — ответ на увеличение темпов развития групповых систем поддержки принятия решения, переносимых в неигровые виртуальные миры, повышения интерактивности интерфейсов систем поддержки принятия решений за

счет средств когнитивной компьютерной графики и развития моделирования социальных процедур. Это и определило актуальность виртуальных гетерогенных коллективов (ВГК) — искусственных интеллектуальных гетерогенных систем с когнитивной составляющей, моделирующих работу коллективного интеллекта, принимающего решения, в смысле Г. Гарднера, члены которых — виртуальные интеллектуальные аватары, процедуры взаимодействия между которыми в виртуальной среде моделируются методами и средствами социального программного обеспечения в смысле Р. Дж. Парика [4]. Элементы ВГК просматриваются в «виртуальных консилиумах» для медицинской диагностики [6], «виртуальных планерках» в машиностроении [7] и «виртуальных круглых столах» в транспортной логистике [8].

2. Множественность коллективного интеллекта

В [9] Г. Гарднер ввел «несколько полезных научных понятий», относительно обособленных и независимых механизмов по обработке информации, присущих человеку, семь видов интеллекта: *лингвистический*, *логико-математический*, пространственный (часто говорят — визуально-пространственный), телесно-кинестетический, музыкальный, ***межличностный*** и внутриличностный. Курсивом обозначены виды интеллекта, апробированы на создании функциональных гибридных интеллектуальных систем (ФГиИС), жирным курсивом — гибридных интеллектуальных многоагентных систем, а подчеркиванием — вид интеллекта, актуальный в ВГК.

Визуально-пространственный интеллект — способность воспринимать зрительную и пространственную информацию, модифицировать ее и воссоздавать зрительные образы без обращения к исходным стимулам, трансформировать пространство. Делает эксперта восприимчивым к форме, линиям, цвету и отношениям между объектами, способным графически выражать идеи, конструировать образы в трех измерениях и мысленно их перемещать и вращать.

3. Полиязыковый коллективный интеллект

Управление как взаимодействие субъекта и объекта может осуществляться только с использованием некоторого механизма обеспечения такого взаимодействия — языка. Вместе с системами формирования и манипулирования образами, запахами и др. язык формирует изученный к настоящему времени в науке инструментарий как повседневной, так и профессиональной деятельности человека в системе управления.

Будучи одновременно средством мыслительного эксперимента и моделью внешнего мира, язык профессиональной деятельности (ЯПД) — объект изучения в ходе гибридизации. Профессиональные языки отличаются от естественных (ЕЯ) [10]. Исследования ЯПД в транспортных узлах, судостроении, биопроизводстве, транспортной логистике, машиностроении, медицинской диагностике показали [6; 8; 10], что профессиональный язык управления — это полиязык, язык коллективного интеллекта, сформировавшийся в результате совместной деятельности экспертов из разных профессиональных групп. Полиязыковый характер отражает в ЯПД особенности ВГК.

Эксперты вносят в работу коллективного интеллекта собственный набор терминов, концепций, принципов, знаний. Это обеспечивает «голографическую картину» системы, использующей различные точки зрения. ЛПР имеет дело с гетерогенной, многоязычной средой, что позволяет ему организовывать и вести несколько линий рассуждений при решении сложной задачи. Недостатки естественно-языковых представлений и рассуждений: неточность устной речи [11]; расхождение в понимании заставляет ЛПР убеждаться, что эксперты одинаково интерпретируют информацию. ЛПР и эксперты склонны оперировать эмоциональными понятиями, а не логическими связями [11]. Вместо критического осмысления фактов и явлений они «скатываются» к сопереживательно-эмоциональному (интуитивному, первобытному) мышлению, истолковывающему устаревшие научные картины мира.

Средства, используемые человеком для обмена информацией — знаковые или семиотические. ЕЯ — самая сложная из всех знаковых систем. Известны диадическая Ф. де Соссюра и триадические Ч. Пирса, Г. Фреге [10] модели знаков. Знак, по Соссюру, — это единство означаемого и означающего. Означающее — форма, структура, которую принимает знак; означаемое — понятие, значение, содержание, которое он представляет. Соссюр утверждает, что не имеется полностью бессмысленного означающего или полностью бесформенного означаемого. Знак, по Пирсу, — это нечто, что обозначает что-либо для кого-нибудь в определенном отношении или объеме. Репрезентамен — форма, которую принимает знак (необязательно материальная). Интерпретанта — скорее смысл, полученный из знака. Объект — то, на что знак ссылается. Знак, по Фреге, — это объект с синтаксисом, семантикой и прагматикой (треугольник Фреге). Если учесть в анализе, что имя (синтаксис) — атрибут левостороннего, лингвистического вида интеллекта, а смысл (семантика) — атрибут правостороннего мышления, то в отличие от точечных (одноаспектных) и линейных разомкнутых (двухаспектных) диаграмм треугольник Фреге — фигурная (треугольная), замкнутая диаграмма — соотносит лингвистический и логико-математический (левополушарный) и визуально-простанственный (правополушарный) интеллекты.

4. Модели языка

Наиболее распространены уровневая и полевая модели языка [12].

Уровневая модель языка (Э. Бенвенист, С. Лэм, Г. Глисон, И.П. Распопов) — прием представления отношений между единицами языка. Уровни — соотносительные системы, элементы которых складываются одни из других. По направлению от нижнего уровня к верхним возрастает количество единиц и сложность их организации. Разграничиваются изоморф-

ные друг другу уровни: меризматический (дифференциальных признаков фонемы), фонематический (фонем), знаковый (морфемы и слова) и категорематический (предложения).

Полевая модель языка (В. Г. Адмони, А. В. Бондарко, Г. С. Щур). Поле — способ существования и группировки лингвистических элементов с общими инвариантными свойствами. Модель релевантна нейропсихологическим и нейролингвистическим изображениям расположения и связей нервных клеток в мозгу человека. Эти связи изоморфны связям нервных клеток мозга, хранящих данные элементы языка.

Многослойная модель языка (Д. Л. Спивак) отражает языкове поведения человека с разными степенями измененного состояния сознания. По мере углубления изменений уменьшается количество языковых средств говорящего. Падает число существительных, прилагательных, союзов, предлогов, сокращается длина слов и предложений. Дольше сохраняются глаголы, местоимения, частицы, стереотипные выражения, эмоциональные компоненты, однословные высказывания. Выстраивается объемная, многослойная модель языка, в которой ядерные слои лежат глубже, а периферийные заложены менее глубоко в языковую память и потому легче утрачиваются.

Ассоциативно-вербальная сеть (Ю. Н. Караулов). Здесь лексика и грамматика не разделены. Слова — конкретные словоформы, хранящиеся в памяти в составе наборов словоформ. Сеть хранится и работает в пульсирующем режиме, в каждый момент времени изменяется набор актуализованных связей между ее узлами. Пульсация похожа на мигание елочной гирлянды из десятков тысяч лампочек.

Динамическая модель языка (З. Д. Попова, И. А. Стернин) — отражает порядок закладывания элементов системы языка в мозгу человека. Фонетические слова — знаки вещей, действий, признаков и других образов реалий, выделяются наиболее активно и закрепляются в памяти носителя языка. Словоформы по мере их накопления группируются (слова, словообразовательные гнезда, ряды, поля и словоизменительные парадиг-

мы) в мозгу, вступая в отношения по звучанию и значению. Слова образуют лексико-семантические поля, а с учетом их грамматических особенностей — части речи. Одновременно с лексиконом формируется блок структурных схем, обозначающих обобщенные компоненты мысли: *деятель, действие, орудие действия, объект действия, время и место действия, причина и цель действия* и др. Последовательности словоформ превращаются в устойчивые словосочетания, фразеологизмы, пословицы и поговорки, крылатые слова и афоризмы. Они похожи на слова, но имеют синтаксическую структуру. Структурный блок и лексикон связаны фразеологией. Формируются лексико-фразеологические поля.

Фрактальная модель языка (К.И. Симонов) [13]. Вместо уровней или полевой модели языка предложен термин «языковой фрактал» — самоподобное множество. Составляющие триединства (треугольная форма «вещество — энергия — информация») в языковой модели и выводят на фрактальную организацию языкового пространства, заменяющей уровни и поля на фрактал. Фрактальная модель языка — результат алгоритма Серпинского, по которому от сплошной фигуры (рис. 1, *1*) остается подмножество — треугольник Серпинского (рис. 1, *n*)

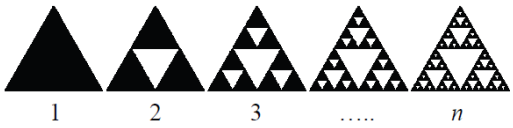


Рис. 1. Последовательность графических образов треугольника

В трехмерном случае имеем языковой фрактал с помощью поверхности — генератора. Пошагово каждый из треугольников плоскости заменяется поверхностью «треугольник — генератор» в соответствующем масштабе. Бесконечное повторение процедуры формирует геометрический фрактал — иллюстрацию организации языковой материи. Уровни (поля) в когнитивной лингвистике соответствует генератору с вершинами:

вещество, энергия, информация, что снимает противоречия классических моделей языка: замкнутые сферы заменяются бесконечной вложенностью языковой материи.

Концептосфера (З. Д. Попова, И. А. Стернин). Соотношения языка и мышления рассматривается в концепции невербального, универсального предметного кода (УПК, «язык интеллекта», информационный язык понятий, гипотезы, доказательств, выводов, решений и т. д.) как нейрофизиологического субстрата мышления, не связанного с речедвигательным кодом, и идет в несловесном предметно-образном коде. Единицы УПК — наглядные образы, формирующиеся в сознании человека в процессе восприятия, и есть результат чувственного отражения реальности в сознании. Это «язык» схем, образов, осязательных и обонятельных отпечатков реальности, двигательных импульсов и т. п.

Концепт — комплексная мыслительная единица, в процессе мыслительной деятельности гипотетически как голограмма, «поворачивающаяся разными сторонами», актуализируя в мыследеятельности свои разные признаки и слои. Концепты — мыслительные картинки, когнитивные структуры, репрезентирующие внешние характеристики предметов: форму, цветовую палитру и др. *(ромашка — травянистое растение с одинокими белыми перистыми цветами на конце ветвистого стебля, желтым цветоложем конической формы, с характерным запахом*). Концепт-схема — пространственно-графические параметры реалий (*дерево — многолетнее растение с твердым стволом и отходящими от него ветвями, образующими крону*). Концепт-фрейм — ментальная «голография», ситуативно-объемное представление реальности *(город — крупный населенный пункт, административный, торговый, промышленный и культурный центр*). Концепт-сценарий репрезентирует поэтапную динамику действий (*выгрузка* — операция*, в ходе которой грузы переваливаются из трюма в вагон*).

Концепты кодируются в сознании единицами УПК. Комбинирование единиц УПК с закрепленными ими концептами — процесс мышления. Слова, язык используются для передачи

результатов мышления другим людям. Сознание — свойство мозга, статический аспект. Мышление — деятельность мозга, наделенного сознанием, динамический аспект протекает в концептосфере, обрабатывая поступающие данные, трансформируя их, делая из них выводы и строя умозаключения.

Концептосфера — мыслительная сфера из концептов. Семантическое пространство языка — часть концептосферы, выражаемая языковыми знаками. Значение концепта — единица семантического пространства языка.

Концепт может получить полевое описание в терминах ядра и периферии. Базовый слой концепта — чувственный образ (*автобус* — желтый, тесно, трясет; *религия* — церковь, молящиеся люди) — единица УПК. Когнитивные слои, отражающие развитие концепта, формирующие его отношения с другими концептами, дополняют базовый слой. Они отражают результат познания (когниции) реальности. Периферия — «интерпретационное поле концепта» — утверждения, установки сознания, релевантные содержанию концепта в культуре.

Аксиоматика знаковой теории языка (А. В. Лосев) [14]. Ни знак, ни образ не воспринимаются органами чувств, чувственны только вещи. Вещь может быть знаком, но знак не может быть вещью. Важнейшее свойство знака — обозначать или указывать на что-либо другое. «Образ кажет, знак — указывает». Образуемое является в образе, но означаемое и обозначаемое не являются в знаке. Знак переводит направленность внимания с себя на обозначаемую реалию. Реальность может существовать и без знаков. Видим не образ, а вещь, предмет, но эта вещь без образа для нас просто не существовала бы. Вместо определений слов *знак* или *значение* А. Ф. Лосев ввел аксиоматику знаковой теории языка: 1) общей информации (6 аксиом); 2) отражения (6); 3) специальной информации: аксиомы чистой знаковости, бессубстратности, конструктивных элементов, знака и модели, знака и контекста, знака и значения (14); 4) стихийности (3); 5) сознания (4); 6) мышления (17).

«Образ предполагает образуемое». В словах «обозначаемое» и «означаемое» к корню «знак» прибавляются приставки

«об» и «о», указывающие на действие, охватывающее предмет и придающее ему свойство нечто значить. Действие (энергия) знака придает новое свойство предмету, свойство быть значимым. Слово «образ» уже включает приставку-префикс «об-». Образ создает предмет, это акт образования. Знак функционирует как акт обозначения, предполагает внезнакового носителя. Носитель образа — не образуемый предмет, а «то, в чем» он образуется, «материя» образа. Отделение образа от его предмета и материи, фокусирует внимание на чисто смысловом бытии образа.

Семиотические концепты (А. Д. Арутюнова) [15]. Семиотическим концептам в русском языке соответствуют имена-классификаторы, выражающие знаковые отношения между означающим как формой и означаемым — идеальной категорией: *значение, эмблема, символ, знак, сигнал* и др. В структуру развитого знакового концепта вместе с указанием на соотносимые категории — идеальной и чувственно воспринимаемой — входит семиотическая связка. Общесемиотические концепты трехкомпоненты с центром «значение отношения» и двумя валентностями — формой и смыслом: *круг — символ вечности; сирена — сигнал тревоги*. Здесь первое имя — форма выражения (означающее), а последнее — категории смысла. В реальной жизни концепты «расшатываются», вступают в системные отношения и стабилизируются.

Существительные *образ, метафора и символ* связаны идеей визуализации объекта: они источник смыслов, но есть и глубокие различия. Только символ — семиотическое понятие, конструируемое связкой. В образе три составляющие: значение, форма и связь — в нерасчлененном единстве. Метафора — шаг к формированию смысла означаемого, но в ней не выделилась связка и отношения выражаемого ею смысла и образа не конвенциональны.

Образ (слову *образ*) — ключевое для группы когнитивных процессов понятие. Концепт «образа» — аналог лат. forma и греч. εἶδος. В славянский языках имя *образ* одного корня с глаголом *резать*: вырезать — придавать субстанции форму. В понятии образа обозначена идея формы, мыслимой отвлеченно от

субстанции и поэтому воспроизводимой, оппозиция «форма — материя» заменена на отношение, порожденное человеком «форма — смысл». Образ синтетичен, он создается зрительным восприятием формы цвета, света, объема, положения в пространстве, пропорции. Из-за неопределенности содержания образы — не объект понимания: они интерпретируются и осмысливаются. Имя *образ* не сочетается с существительными — именами категории смысла. Образ ближе к миру, чем к смыслу. Среда «обитания» образов — сознание, они субъективно окрашены и погружены в ассоциативные связи. Образы стихийно складываются в сознании, если объект удален из поля прямого восприятия, они воодушевляют, удерживают от неоправданных поступков, но образом нельзя воздействовать, они относительно независимы от воли, могут не давать покоя человеку, преследовать, притягивать к себе, их трудно вытеснить из сознания. Язык не допускает имени *образ* в инструментальной позиции. Образ синтезируется, раскрывается сознанию, из смутного и неясного становится отчетливее, приближается, переходит в крупный план. Релевантность образа оригиналу колеблется в большом диапазоне, но искажения объекта в образе имеют предел. «Прорыв» за границы класса выводит образ в область других концептов — главных наследников «образа» — метафоры и символа (рис. 2).

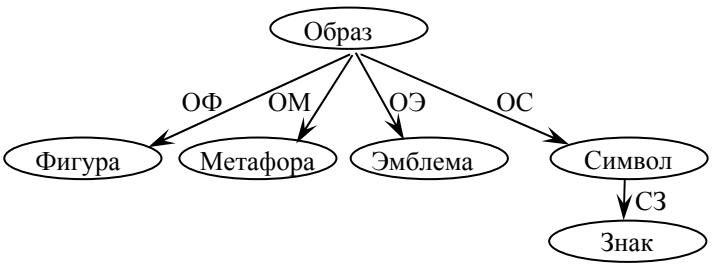


Рис. 2. Трансформации образа:
ОМ — семантическая трансформация образа в фигуру;
ОС, *СЗ* — семиотическая трансформация образа в символ и знак;
ОЭ — идентифицирующая трансформация образа в эмблему (герб)

Языковая метафора. Метафора — способ уловить индивидуальность конкретного предмета или явления, передать его неповторимость. Классическая метафора — это вторжение синтеза в зону анализа, представления (образа) в зону понятия, воображения в зону интеллекта, единичного в царство общего, индивидуальности в «страну» классов. Метафора оперирует смыслом. Следует различать метафору и метонимию (переименование). Метафора близка к образному сравнению. Метаморфоза — превращение, переход из одной формы в другую с приобретением нового внешнего вида и функций. Метафора лаконична, избегает объяснений и обоснований, сокращает речь. Сравнение ее распространяет, раскрывает подобие по части признаков. Дав толчок развитию мысли, метафора угасает, она орудие, а не продукт научного поиска. В практической речи, дав толчок семантическому процессу, метафорический образ уступает место понятию. Со времен К. Маркса общество представляют зданием. Эта метафора позволяет выделить в обществе базис (фундамент), различные структуры (инфраструктуры, надстройки), иерархические лестницы, его строят, переустраивают.

Концепт *фигуры* двойственен в ряде отношений: фигура мыслится одновременно и в пространстве реальности, и это отличает ее от *образа,* локализованного в контексте сознания, и в рамках ее частной модели. Фигура трансформируется в миф, образ (имидж) и символ. Фигура может быть противоречивой, миф, образ и символ последовательны.

Символ — синоним имени *образ* и существительного *знак*. Говорят о символических образах и о символических знаках. В иерархии высшую позицию занимает символ. В обыденном языке слова *образ*, *символ*, *знак* близки по значению и взаимозаменяемы. Символ и знак — надстройка над базисом-образом. Символ функционален, метафора семантична, образ психологичен. Символ влиятелен, но не коммутативен, им нельзя сообщать. Символ в отличие от метафорры «просится» на бумагу. Символические элементы после распадения образа дают возможность его прочтения. Системы символов позволяют

прочесть текст-образ. Символ императивен. Существительное *символ* не употребляется в инструментальной позиции, характерной для имени *знак.*

Символ и знак. В повседневной речи существительное *знак* входит в сочетания типа *подать знак, сделать знак, дать знак,* выражающие коммуникативное действие. Знак — регулирует конкретные действия, а символ, как и образ, создает поведенческую модель. Поэтому говорят о *дорожных знаках*, но не о *дорожных символах*. Символ и даже образ ближе к мышлению — художественному, религиозному, знак — к общению.

5. Знаки и образы в русском языке

Древние языки — система не только чтения, а в основном система изъятия скрытого смысла из текстов. Русский язык был и пока еще остается языком образов глубинного смысла, в отличие от европейских, дающих поверхностное (вширь) понимание передаваемой информации. Наш язык сохранил базовые механизмы исконной речи (образность) примерно на 30—40 %. У современного человека из-за упрощения языка и потери образного мышления многие процессы работы головного мозга повреждены и заторможены. Образное (слогановое) построение древней мыслеречи предусматривает множество слов-синонимов и вариантов последовательности сборки, ведь задача мозга нарисовать голографический образ объекта, доступный пониманию. Несмотря на различия разных языковых групп, мозг сохраняет голографический принцип работы — образность внутреннего общения отделов мозга между собой.

Образность древлесловенского и древнерусского языков идет от рун, отображавших реальный мир. Руна — это не буква, не слог, это глубинный образ явления, события, отвлеченного в форме начертания. Известно выражение «азбучные истины». Одна из истин передана порядком в начале азбуки: *а, б, в, г, д, е, ж, з.* Но буквы (буквицы) раньше именовались: *аз, Боги (буки), веди, глаголи (глаголь), добро, есть, есмь, живот,*

зело, земля. Соединяя имена буквиц попарно и добавляя их общеизвестные образы, получаем: *«аз бога ведаю, глаголя добро, глаголить добро есть бытие, жизнь вельми на земле»*. Перейдя на глубинные образы буквиц, имеем: «*я многое ведаю, информацию множа о бытие, кое есть форма существования жизни разнообразной на землях (планетах)»*.

Древнерусский язык имел более развитую фонетику, грамматическую структуру, чем современный русский язык. Упрощение произнесения букв: горловых, носовых, шипящих, свистящих и т. д. ослабило воздействие на организм словесных комбинаций: заговоров, наговоров, использовавшихся народом тысячелетиями. Стирается лаконичность при передаче образа. Выражение *князь придеши* нам понятно и сейчас. В английском языке оно передано 11 словами. Утрата образности и переход на фонетический способ извлечения информации лишает язык образности.

6. Визуальный язык — поддержка визуально-пространственного интеллекта

Первые изображения появились примерно 10—45 тыс. лет назад: кроманьонцы создавали скульптуры, гравюры, рисунки, изображая диких животных и абстрактные узоры. Зарубежные специалисты наблюдают в обществе «визуальную революцию» [16]. Сегодня эксперты-советники и ЛПР стали «визуальными» мыслителями. В информатике активно эксплуатируются термины «визуальное управление», «визуальное мышление», «визуализация данных», «машинная графика», «иконографика», «графическое проектирование», «визуальная фасилитация», «когнитивная визуализация («когнитивная графика», «визуальное программирование», «визуальное моделирование».

Визуализация — сложный, разнообразный феномен, включающий [16]: 1) визуализацию данных всех отраслей научных знаний, финансов, моделирования, геоинформационные системы; 2) графическое проектирование (дизайн) — методы, подчиняющиеся законам технической эстетики, используемые

архитекторами, инженерами, программистами, дизайнерами и др.; 3) визуальную фасилитацию (англ. facilitate — помогать, облегчать, способствовать) — не директивный стиль управления, сочетание функций руководителя, лидера и участника групповой динамики; 4) когнитивную визуализацию — метафоры, ментальные модели, внутренние установки поведения человека.

Графика делает скрытое визуальное мышление образами видимым и доступным, открывает людям глаза на то, что любая коммуникация имеет визуальную природу. Характеризуя состояние исследований в области когнитивной компьютерной графики, отметим ее авторов — Д. А. Поспелова и А. А. Зенкина, а инженерии образов — И. Б. Фоминых, заложивших основную терминологию, задачи российской науки в рамках образного мышления. Известные специалисты: Б. А. Кобринский, О. П. Кузнецов, В. Б. Тарасов, Л. М. Чайлахян.

Визуальные технологии поддерживают представление результатов анализа данных и поиска творческих способов отображения информации, вовлекают экспертов в осознание сложности и совместную выработку и принятие решений. По данным В. Ф. Венды [17], эксперименты с текстовыми инструкциями и схемами операторов сложных радиотехнических комплексов показали, что длительность обучения сократилась примерно вдвое, время принятия и реализации уменьшилось примерно на 30 %, а число ошибок — на 15 %.

Разговор, дискуссия, рассуждения коллективного интеллекта за круглым столом, в комнатах для совещаний, в ситуационных центрах стали «визуальными», они вызывают у экспертов образы как мысленные, так и «нарисованные» в воздухе (жесты) и на лице (мимика эмоций и чувств).

Визуальный язык интегрирует текст и графику в одной коммуникационной единице. Как и любой другой «визуальный язык», по Д. Сиббету [16; 18], или «язык визуальных образов», по У. Боумену [19], имеет свои ресурсы и возможности: словарь элементов формы, грамматику пространственной организации, идиомы объемной перспективы и синтаксис фра-

зировки образов. О силе картинки говорят народные пословицы: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать», «Пока не увижу, не поверю». Это подтверждается наукой: толщина зрительного нерва в 50 раз больше слухового.

Словарь элементов формы. Для графических изображений нужен словарь конструктивных элементов (базовых форм) — «кирпичиков» производных, сложных форм, релевантных средствам, свойствам, явлениям, событиям и процессам в объекте и субъекте визуального управления. У. Боумен считает, что форму характеризуют пять элементов: точка, линия, плоскость, цвет и текстура [19].

Грамматика пространственной организации. Форма зависит от особенностей страницы, где она изображена, когда форма плоская по структуре и расположению. В [19] выделены правила грамматики визуального языка для «удержания» формы на плоской поверхности во избежание смысловых неясностей. Для создания впечатления о размещении плоских фигур в разных плоскостях У. Боумен предложил еще восемь грамматических правил, а для эффекта непрерывности пространства — шесть правил [19].

Идиомы объемной перспективы. Объемная форма — более сложная, она, по У. Боумену, строится из плоскости рисунка; линии горизонта (глаза); точки схода (фокуса) и наблюдения; сходящихся краев; может иметь параллельную, угловую или наклонную организацию.

Синтаксис фразировки образов. Визуальная фраза — рисунок, значит то, что заложено в передаваемых ею идеях, ее форма должна быть функциональной, зависящей от отбора базовых элементов и их организации. Формы взаимодействуют в рисунке аналогично словам в предложении — контекст влияет на каждую из них. Сходство в характере и положении форм создает визуальную связь и передает родство, ассоциации по смыслу элементов рисунка. Синтаксические средства визуального языка: сходство, дифференциация, ударение.

Графическое высказывание. Этапы визуализации: замысел (цель, визуальная идея, визуальный перевод, концептуальный набросок), конструирование (фигурная модель, рисунок)

и исполнение (графическое высказывание). Перед конструированием графической фигуры составляется «мысленный» рисунок для выражения его визуальной идеи. Применяются общая концепция формы, с добавлением элементов для более точного выражения идеи и оттенков ее содержания. Содержание отображается эксплицитно и имплицитно (рис. 3).

Рис. 3. Идея и уровни изображения:
1 — идея формы; уровень подхода к изображению:
2 — объективное изображение; *3* — абстрактное изображение;
4 — символическое изображение

Конструирование определяет ценность фигуры как графического высказывания. Концептуальный набросок — скелет будущего рисунка. Здесь элементам придается форма, четко показывающая, что он собой представляет и как он работает в составе всей фигуры. Решения задач конструирования оцениваются с точки зрения основной цели — коммуникативности. Существует 13 основных коммуникативных задач показа: внешнего вида (рис. 4), структуры (рис. 5), организации (рис. 6), движения (рис. 7), системы (рис. 8), процесса (рис. 9), количества, тенденции, деления, места (рис. 10), расположения (рис. 11) и положения (рис. 12).

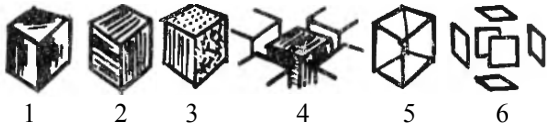


Рис. 4. Внешний вид:
1 — физический; *2* — формализованный; *3* — поверхности;
4 — с окружением; *5* — прозрачный; *6* — композиционный

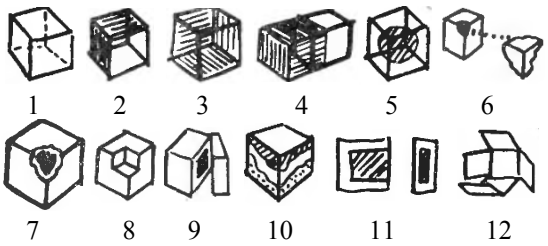


Рис. 5. Структура:
1 — внешняя; *2* — невидимая; *3* — интерьер; *4* — составная; *5* — внутренняя;
6 — увеличение; *7* — вскрытая; *8* — частичный разрез; *9* — разрез;
10 — вырезка; *11* — двойной разрез; *12* — раскрытие

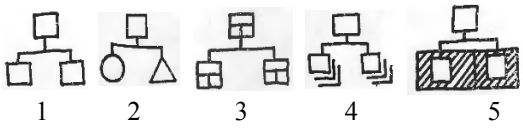


Рис. 6. Организация:
1 — элементарная; *2* — символическая; *3* — внутренняя;
4 — пространственная; *5* — с группированием

Рис. 7. Движение:
1 — поступательное; *2* — выхода; *3* — круговое;
4 — циркуляционное; *5* — по маршруту

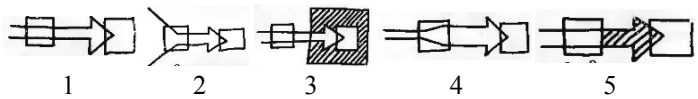


Рис. 8. Система:
1 — регулярная; *2* — сложная; *3* — с указанием фаз;
4 — с количественной характеристикой; *5* — с ударением

Рис. 9. Процесс:
1 — регулярный; *2* — дифференцированный; *3* — составной;
4 — взаимодействие; *5* — фазовый

Рис. 10. Место:
1 — физическое; *2* — формализованное; *3* — охарактеризованное;
4 — с окружением; *5* — выделенное

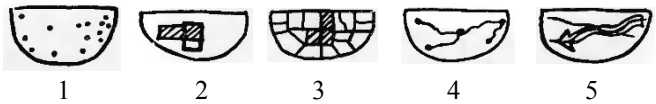


Рис. 11. Расположение:
1 — родственность; *2* — сложный состав; *3* — область;
4 — сеть; *5* — движение

Рис. 12. Положение:
1 — родственное; *2* —дифференцированное; *3* — маршрут;
4 — область; *5* — подразделенное

Форма может иметь ошибки ее неправильного визуального восприятия: невыразительность рисунка 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. Ошибки конструирования визуальных высказываний: в

наборе графических средств, структура фигуры двухсмысленна, затруднено понимание, слабый словарь или его однообразие, нет перспективы, теснота расположения элементов; неудачные формы элементов. Смысловые ошибки: неправильно выбрана толщина контура формы, разрывы в потоке, выражаемом стрелками; использование объемности там, где не нужно; плохая различимость элементов и др.

Следуя Д. А. Поспелову [20], выделим три вида графических высказываний в визуальном управлении: конструирование образ-решения, он наталкивает на решение задачи или понимание ситуации; решение-образ: образ процесса решения задачи (как она решалась); образ-задача: визуализация образа, из которого пользователь может формулировать задачу. Подробнее вопрос о визуальных высказываниях рассмотрен в разделе по ВГК.

7. Базовые элементарные формы визуального языка

Число и геометрия в художественно-эстетической теории зодчества древнерусских храмов [21]. Знание о мире, его устройстве со времен архаики адекватно осуществляется привлечением универсальной науки и искусства — числа и геометрии форм. В основе философии пифагорейцев было представление о числе как символической схеме различных стихий, сил, законов и вещей, число, возведенное в геометрическую конструкцию. Труд Евклида «Начала» ознаменовал геометрический способ мышления. Вместе пифагорейская теория чисел и евклидова геометрия линий — полярность внутри теории пропорций. Символическое число стойко связывается в сознании Средневековья с тем или иным «образом-именем» и проявляется в системе пропорционирования в виде определенных числовых тождеств. Например, пропорциональный строй алтарей части храмов основан на числе 3. Новая конструкция храма несет черты первообраза через «образ и подобие». «Образ» наследуется именем, а «подобие» — числом. Число есть смысл и знак, процесс движения смысла к символу

или знаку. Догмат отражения принципа единства «невидимого в видимом» — основа церковного искусства архитектуры. «Чтобы познать невидимое, смотри внимательно на видимое» — гласит Талмуд. Coincidentia oppositorum — соединение противоположностей — парадигма культового искусства, занимающегося преображение мира невидимого в мир видимый средствами символа, образа, аналогии. Основа геометрии храма — две фигуры (круг и квадрат), воплотившие значение вечности и цикличности неба — первая и стабильности и фундаментальности земли — вторая.

Геометрия амулетов и талисманов [22; 23]. Точка — единство иллюзии времени и пространства, начало других форм. Ритм творения кристаллизуется в первосимволе — треугольнике, первичном знаке ограды тремя линиями. Треугольная форма — мощный и универсальный символ поверхности вообще. Пересекающиеся треугольники (гексаграмма) — синтез, союз противоположностей. Пирамида имеет квадрат в плане и треугольник в сечении. «Поверхность состоит из треугольников» — Платон. Квадрат обозначает точки земного шара, соответствующие четырем главным направлениям, форма порядка и совершенства, опора геометрии пространства.

Натурфилософия Древнего Востока: триграммы БаГуа [24]. Взаимодействие Инь-Ян порождает многообразие всего сущего во Вселенной (рис. 13).

Рис. 13. Графические формы Инь и Ян

Разделение приводит к восьми формам БаГуа — образам проявления энергии Ци (рис. 14). С их помощью легко описать все процессы в нашей Вселенной, природные явления, катаклизмы, стороны света, органы тела человека. Каждая из триграмм имеет бесконечное множество значений.

Рис. 14. Восемь триграмм БаГуа:
1 — Тянь — созидания (металл, северо-запад, верх, авторитет, небо, сила, глава семьи); *2* — Кунь — восприимчивости (земля, юго-запад, покорность, мягкость, земля, покой, мать семьи); *3* — Чжень — беспокойства; *4* — Шунь — нежности); *5* — Кань — бездны; *6* — Ли — привязанности; *7* — Гэнь — покоя; *8* — Дуй — радости

Психология восприятия и теория геонов [25]. Теория геонов предполагает, что человеческая система обработки информации ограничена простыми геометрическими «базисными элементами». Она сформулирована И. Бидерманом. Геон — сокращение от «геометрические ионы». Согласно этой концепции, сложные формы состоят из геонов (рис. 15). Например, чашка составлена из двух геонов: цилиндра (емкости для воды) и эллипса (ручки).

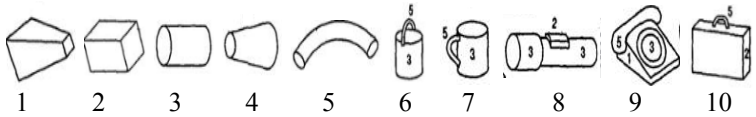


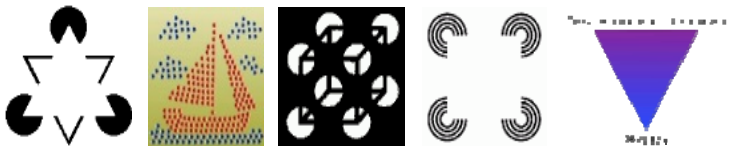
Рис. 15. Геоны и объекты:
1—5 — геоны; *6—10* — объекты

Теория геонов предполагает, что распознавание объекта, например телефона, чемодана или более сложных форм, состоит из распознавания по компонентам — геонам — 24 особым формам, подобно буквам алфавита, образующим систему. При объединении геоны формируют астрономическое число сложных форм.

Ролевые психолого-социальные треугольники Карпмана (англ. Karpman drama triangle; «треугольник судьбы») — модель взаимодействия между людьми в трансакционноми сце-

нарном анализе — играх. Трехролевой классический треугольник судьбы (рис. 16) сценарий серии параллельных (взаимных) или скрытых взаимодействий (трансакций), приводящих к предсказуемому результату. Есть ролевые треугольники угнетения, равноправия, сострадания, лжеца, мудрости, ошибочного восприятия и др.

Зрительные иллюзии и феномены [26; 27]. Зрительные иллюзии искусственно создаются рисунками, которые, в свою очередь, также искусственны. Здесь используются специальные приемы с целью заставить головной мозг думать, что вы смотрите на реальный пространственный объект (рис. 16). Разнообразие зрительных иллюзий велико.



1 2 3 4 5

Рис. 16. Зрительные иллюзии и треугольник Карпмана:
1 — треугольник Каниша (треугольник, которого нет);
2 — движущийся кораблик; *3* — куб Неккера; *4* — квадрат, которого нет;
5 — треугольник судьбы Карпмана

Визуальные образы азбуки древнерусского языка [28]. Буквица — древнейший элемент оформления текста. Это большая прописная буква, искусно, затейливо разрисованная и мастерски украшенная красками из порошка изумрудов и рубинов. Буквица отражает образ, скрытый смысл, тему работы. Создатели славянской азбуки (рис. 17) Кирилл и Мефодий хотели, чтобы азбука звучала осмысленно, утверждая ценность слова и мысли. Древнерусский книжник не просто украшал букву орнаментом, он передавал и украшал мысль. Каждая буквица индивидуальна, неповторима [29].

Рис. 17. Славянская азбука (буквица) слева
и алфавит современного русского языка справа

Буква — элемент, атом смысла. Буквы русского алфавита многоаспектны. Графический, семиотический, знаковый аспект — буквы имеют форму, графику. Форма буквы — это геометрия звука. Каждая буква русского алфавита — символ чего-то. Когда Петр I задумал убрать *фиту* (рис. 18, *1*) и ижицу (рис. 18, *2*) из буквицы, к нему пришла делегация духовенства с просьбой не делать этого. Ижица была только в словах религиозного плана и обозначала связь земного с божественным.

1 2 3 4 5 6

Рис. 18. Буквы азбуки древнерусского языка:
1 — фита; *2* — ижица; *3—4* — омь; *6* — живот

Буква *омъ* (*о*) (рис. 18, *4*) — символ сияния, созидания, продолжения движения и существования. Буква *от* (рис. 18, *3*). В графике буквы «отъ» видим объединение двух структур: *омь* и *твердо* — *Т* определенное. А теперь представим, что существует какая-то изначальная структура, и все, что будет отходить от этой структуры, означает понятие (образ) *ОТъ*, например *отбыть* (рис. 18, *5*) из данной точки пространства и переместиться в другую форму.

Второй план значения — философский, смысловой. До языковой реформы 1918 г. название произведения Л.Н. Толстого прописывалось так: «Война и Мїръ» («Война и Народ»). А теперь — «Война и мир» («Война и не война»?), что расходится с замыслом писателя.

Третий план значения — числовой, четвертый — звуковой, вибрационный.

Визуальные образы геометрической лингвистики [30]. Здесь слова подчиняются не только законам лингвистики, но и правилам геометрии: буквам соответствуют 33 точки на трех гранях лингвистического треугольника (он включает троекратное количество букв современного русского алфавита). Критерий расположения — частота употребления букв в языке. Часто употребляемые буквы расположены в середине граней, прочие — ближе к углам. Треугольник можно трансформировать в окружность из трех сегментов или секторов (рис. 19).

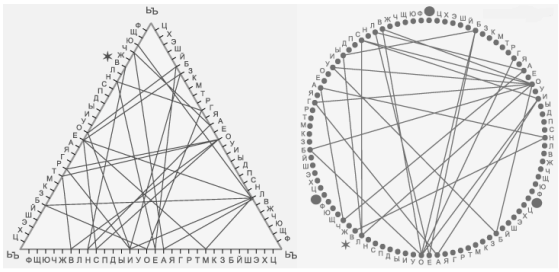
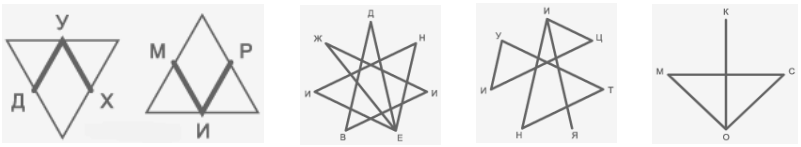


Рис. 19. Лингвистические треугольник и окружность

Слова в контексте геометрической лингвистики — графические изображения, которые образованы пересечениями линий, или, иначе сказать, линейными конфигурациями букв алфавита в лингвистическом треугольнике (окружности). Эти изображения — лингвистические шифры, коды, визуальные образы или символы слов. Например, философские значения слов «дух» и «мир» могут быть выражены разнонаправленными треугольниками (рис. 20).



1 2 3 4 5

6 7 8 9

Рис. 20. Символы-коды философских значений слов:
1 — дух; *2* — мир; *3* — движение; *4* — интуиция; *5* — космос; *6* — человек; *7* — алгебра; *8* — стремление; *9* — существование

Можно построить геометрические образы имен для исследования психологических свойств и параметров человеческой личности, имен марок автомобилей для изучения мотивов выбора и покупки.

Гипотеза о треугольно-пятиугольной системе очагов физических явлений Земли и очагов древних культур и цивилизаций [31; 32]. В устных и письменных источниках древности упоминается треугольное деление Земли и ее территорий (в «Махабхарате», в древнекитайских гимнах, у древнегреческого философа Платона, в русском фольклоре). За последние почти два века исходный материал для такого подобия служил наблюдаемый геометризм географического, геоморфологического и геологического характера на поверхности Планеты. Земную поверхность, или земную кору, сравнивали с тетраэдром, октаэдром, додекаэдром, додекаэдро-икосаэдром. Эти данные послужили для открытия Гончаровым — Макаровым — Морозовым «русской сетки» — наблюдаемой симметрии каркаса, в узлах и ребрах (экстремумах) которого концентрируется большинства геолого-геофизических и географических явлений (рис. 21).

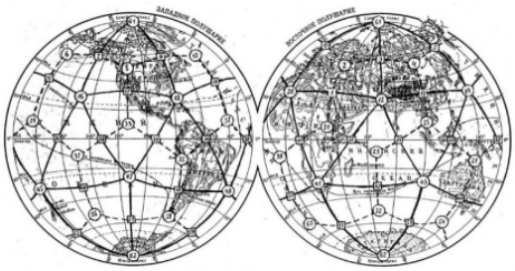


Рис. 21. «Русская сетка» Земли

Изобразительное искусство и декоративно-прикладное творчество [33]. *Оригами* (япон. от *ори* — «складной», и *ками* — «бумага») — искусство складывания из бумаги, следуя определенной схеме сборки, из базовых форм (рис. 22) сложных скульптур (рис. 23). Киригами (япон. от *киру* — резать) — оригами, где разрешены ножницы и разрезание бумаги.

Рис. 22. Базовые формы оригами:
простые базовые формы оригами: *1* — треугольник; *2* — книга; *3* — дверь; *4* — воздушный змей; средние базовые формы оригами: *5* — блинчик; *6* — рыба; *7* — двойной треугольник; *8* — двойной квадрат; *9* — дом; *10* — птица; *11* — катамаран; *12* — лягушка

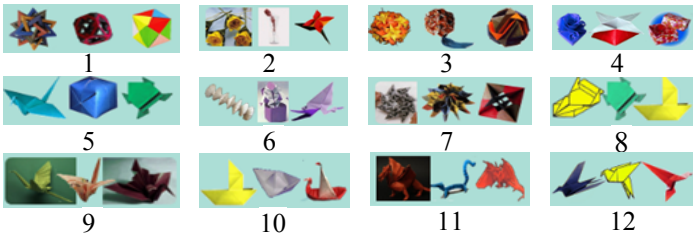


Рис. 23. Разнообразие оригами:
1 — геометрические; *2* — цветы; *3* — шарообразные, модульные; *4* — коробочки; *5* — классические; *6* — подвижные; *7* — модульные; *8* — детские; *9* — журавлики; *10* — кораблики; *11* — драконы; *12* — птицы

Квиллинг [34] — искусство бумагокручения (от англ. *quil* — «птичье перо»). В средневековой Европе в монастырях делали медальоны: на кончик птичьего пера накручивались бумажные полоски с позолоченным краем. Восхитительной красоты картины (рис. 24), выполненные в технике квиллинга, — это результат кропотливой работы, требующей терпения, внимания, усидчивости и знания базовых элементов (рис. 24) бумагокручения. Все детали картины созданы из маленьких, филигранно скрученных в мелкие заготовки, полосок бумаги.

Геометрический паркет. Фигуры М.К. Эшера. Мозаика Р. Пенроуза. Тесселяция. Плитки Х. Вана (рис. 25) [35; 36]. Геометрический паркет — заполнение поверхности многоугольниками без щелей и наложения. Базовые фигуры: квадрат, прямоугольник, параллелограмм, треугольник, ромб и шестиугольник. Замощение, тесселяция (англ. *tessellation*) — процесс добавления новых выпуклых многоугольников в полигональную сетку.

Изящные мозаики Пенроуза с двумя и более фигурами — ключ к пониманию структуры квазикристаллов. Плитки Вана (домино Вана) предложены математиком, логиком и философом Хао Ваном в 1961 г. Это класс формальных систем. Они моделируются визуально с помощью квадратных плиток с раскрашиванием каждой стороны. Замощение плитками Вана плоскости — алгоритмически неразрешимая проблема. Р. Робинсон получил апериодический набор шести протоплиток (вращения и отражения уже допускаются), где замощение возможно (рис. 25—17).

Дудлинг [37] — искусство рисования кривыми линиями. Составляющие — основные элементы дудл-рисунков и клубков зентангл (рис. 26). Базисные кирпичики создают фундамент для более сложных узоров из линий и точек, для эффеков выпуклостей и углублений. В зентангле много геометрических узоров, а в дудларте воплощаются и реалии окружающего мира.

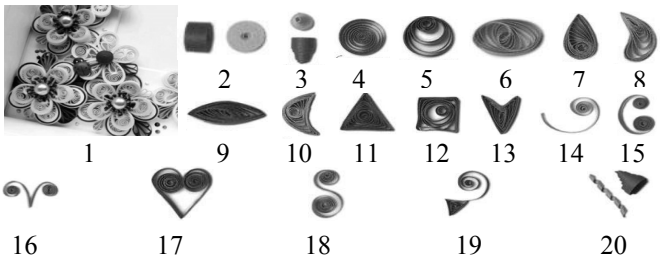


Рис. 24. Картина и базовые формы квиллинга:
1 — картина в стиле квиллинга; базовые формы квиллинга: *2* — тугой круг; *3* — конус; *4* — свободный круг; *5* — смещенный круг; *6* — овал; *7* — капля; *8* — лепесток; *9* — глаз (маркиза); *10* — полумесяц; *11* — треугольник; *12* — квадрат; *13* — наконечник стрелы; *14* — спираль; *15* — С-спираль; *16* — V-спираль; *17* — сердце; *18* — S-спираль; *19* — комбинированная; *20* — спиральный завиток

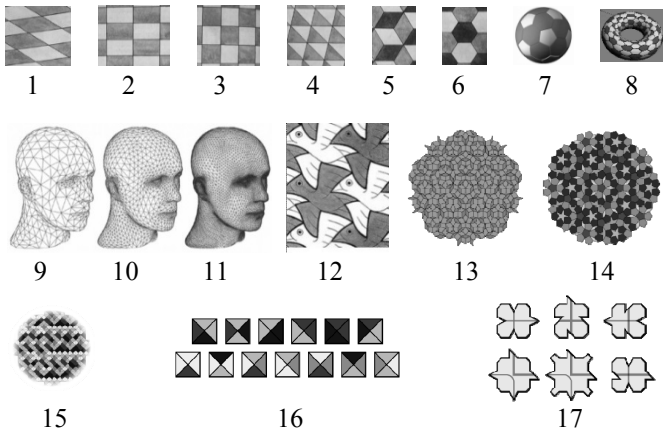


Рис. 25. Геометрический паркет, тесселяция, фигура Эшера, мозаика Р. Пенроуза, плитки Х. Вана:
1—6 — геометрический паркет; *7*, *8* — геометрический паркет на сферической поверхности и торе; *9—11* — тесселяция треугольниками; *12* — фигура Эшера «Птицы»; *13*, *14* — мозаика Р. Пенроуза; *15*, *16* — плитки Х. Вана; *17* — набор шести протоплиток

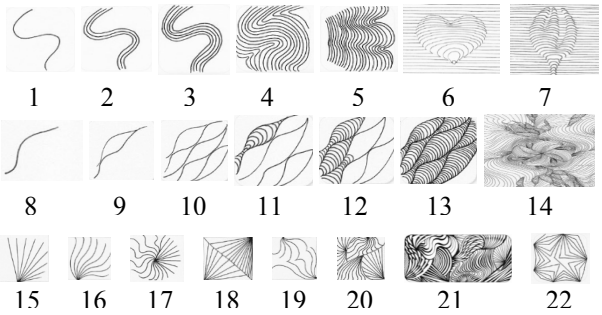


Рис. 26. Линии и сложные образы дудлинга и зентангла:
1, *8*, *15—17* — линии — базовые элементы дудлинга;
2—7, *9—14*, *18—22* — от базового элемента к сложному образу

Пуантилизм (фр. pointillisme, «точечность», фр. point — точка, «точкование»), *пуантель* [38] — графика и живопись точками, техника композиции в музыке. Пуантилизм, пуантель, поинт-ту-поинт, дот арт, дотворк — техники рисования точками (рис. 27).

Рис. 27. Пуантилизм, мандала, зендала:
1 — пуантилизм П. Синьяка; *2* — портрет Мэрилин Монро Б. Хейна (пуантилизм); *3* — «точечный гиперреализм» М. Эндара (M. Endara) (достигается эффект фотографии); *4—6* — мандала — зендала

Мандала — узоры в круге, здесь нет отображения смысла. Зендала (от *зен* и *мандала*) — рисование мандалы для удовольствия, в технике «свободной руки», без эскизов, разметок. Это приятно и полезно, развивает глазомер, чувство симметрии.

Геометрический орнамент [39] — узор, построенный на ритмическом чередовании изображаемых мотивов, часть материальной культуры общества, знаковость (рис. 28). Термин «орнамент» связан со словом «украшение» (от лат. *ornemantum* — украшение).

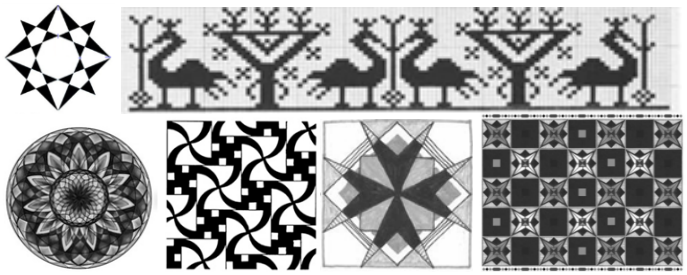
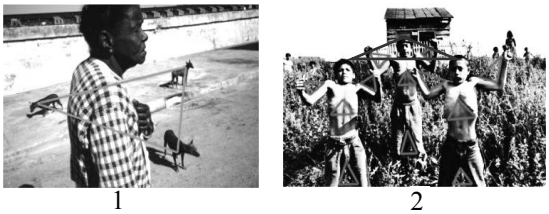


Рис. 28. Геометрический орнамент

Искусство фотографии [40]. Объекты имеют геометрическую или приближенную к геометрической форму. Человеку свойственно ассоциировать каждую фигуру с чем-то, для нее характерным. Углы подсознательно ассоциируются с указателями. Если долго смотреть на квадрат или прямоугольник, возникает ощущение стабильности (подсознание дорисовывает устойчивое здание?). Круг создает чувство уюта и успокаивает. Это только малая часть приемов фотографов для передачи концепта, идеи снимка. Правило треугольника [41] — один из лучших композиционных приемов гармоничного заполнения кадра, придания снимку баланса и движения (рис. 29). На рис. 29 интересный факт — все собаки смотрят в разные стороны, что добавляет ощущение напряженности и «растягивает» женщину в разных направлениях.



1 2

Рис. 29. Треугольники в фотографии:
1 — фотография «Женщина и три собаки», автор А. Уэбб (Куба);
2 — фотография «Мальчики-скелеты», автор Й. Куделка

Текстовые редакторы. Моделирование. Алгоритмы [42]. Редактор MS Word позволяет вставлять в текстовый документ нетекстовые элементы или объекты — рисунки, диаграммы, формулы, он обладает собственными, общеизвестными инструментами для создания и редактирования графических объектов, в том числе и схем алгоритмов. Современные системы моделирования, например математический пакет MATLAB + SIMULINK, инструментальная среда AnyLogic (рис. 30), располагают разнообразием базовых средств как абстрактных изображений, так и картинок (рис. 31) для создания реалистичных визуальных изображений.

Рис. 30. Базовые элементы системной динамики AnyLogic:
1 — накопитель (ресурсы); *2* — поток; *3* —динамическая переменная;
4 — параметр; *5* — связь; *6* — событие; *7* — переменная;
8 — указатель начального состояния; *9* — конечное состояние

Рис. 31. Картинки AnyLogic:
1 — служащий; *2* — рабочий; *3* — склад; *4* — магазин; *5* — завод;
6 — опора ЛЭП; *7* — судно; *8* — автомобиль; *9* — электропогрузчик

Менеджмент и визуальное управление. IDEF3 (англ. Integrated DEFinition for Process Description Capture Method) — методология моделирования и стандарт документирования процессов. Основа IDEF3 — графический язык деятельности системы. В основе — понятия и соответствующие им элементарные формы (рис. 32).

Диаграмма Ганта — удобный и популярный способ графического представления времени выполнения задач, диаграмма интервалов на шкале времени, отражающая использование объектами (точками) ресурсов (серий). Для визуализации хода выполнения задач, планирования ресурсов, графика рабочего времени этот вид диаграммы использует три основные базовые фигуры (рис. 33).

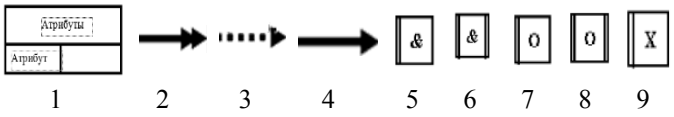


Рис. 32. Базовые формы методологии моделирования и стандарт документирования процессов IDEF3:
1 — единица работ (процесс, действие, принимаемое решение и другие процедуры); связи (порядок или очередность действий в процессе); *2* — объектный поток; *3* — нечеткое отношение; *4* — временное предшествование; перекресток (ветвления и распараллеливания действий в процессе, слияние и ветвление стрелок): *5* — синхронное «И»; *6* — асинхронное «И»; *7* — синхронное «ИЛИ»; *8* — асинхронное «ИЛИ»; *9* — исключительное «ИЛИ»

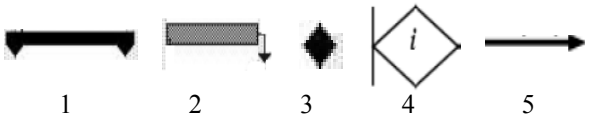


Рис. 33. Базовые формы диаграмм Ганта и GERT-сетей

Метод графической оценки и анализа (GERT, Graphical Evaluation and Review Technique) — альтернативный вероятностный метод сетевого планирования. Основа GERT-сети для адекватного моделирования сложных процессов строительства. GERT-сети строятся из двух элементарных графических форм (рис. 33).

Деловая графика. Программирование. Пример инструмента деловой графики — Microsoft Visio для конструирования визуальных высказываний: схем бизнес-процессов BPMN, карт и планов этажей, деловых схем, таких как ITIL (Information Technology Infrastructure Library), сводных схем, схем «шесть сигм» и схем потока создания стоимости; инженерных схем, блок-схемы, такие как IDEF0, и блок-схем рабочих процессов Microsoft SharePoint; схем программного обеспечения и баз данных, включая нотацию баз данных, карту веб-сайта и UML (Unified Modeling Language).

Компания Google выпустила новый визуальный язык программирования Blockly для создания программ без ввода каких-либо символов или текста, манипулируя только набором типовых логических блоков соединяемых в пазл.

Искусство презентаций [43; 44]. Основа коммуникации — фигуры-символы отношений и взаимодействия. Успех зависит от того, насколько автор владеет тремя составляющими: расположением, визуальными элементами, движением. Примеры общепринятых фигур для обозначения абстрактных отношений даны на рисунках 34, 35.

Рис. 34. Абстрактное отношение «Поток»:
поток: *1*, *2* — линейный; *3*, *4* — круговой; *5*, *6* — дивергентный, конвергентный; *7*, *8* — разнонаправленный

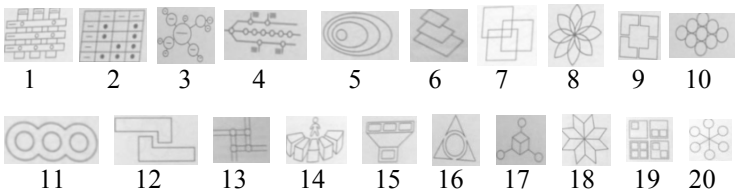


Рис. 35. Абстрактные отношения «структура», «кластер», «лучи»:
структура: *1*, *2* — матрица; *3*, *4* — дерево; *5*, *6* — уровни;
кластеры: *7*, *8* — наложение; *9*, *10* — смыкание; *11*, *12* — вложение;
13, *14* — соединение; лучи: *15*, *16* — из одной точки;
17, *18* — с ядром; *19*, *20* — без ядра

Художественное конструирование [19]. Форма характеризуется пятью элементами: точкой, линией, плоскостью, цветом и текстурой (рис. 36).

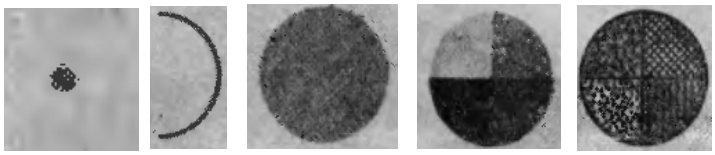


Рис. 36. Словарь элементов формы:
1 — точка; *2* — линия; *3* — плоскость; *4* — цвет; *5* — текстура

Точка (рис. 37) имеет размеры, форму и цвет. Это символ объекта, идеи. Точке может быть придана сложная форма. Она может быть увеличена, чтобы легче ее обнаружить и усилить впечатление. Буквы и цифры могут восприниматься как точки.

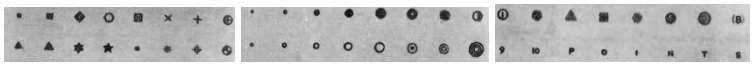


Рис. 37. Разнообразие точек

Линия — одномерное образование, указывающее направление, протяженность или движение. Показывает траекторию, маршрут, границу, деление (рис. 38). Фигура, совпадает с плоскостью рисунка, показывает контур, площадь, очертания, обрамления и края (рис. 38).

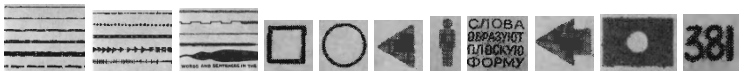


Рис. 38. Разнообразие линий и фигур

Поддержка принятия решений. Фасилитация. Скрайбинг. Семи основных фигур достаточно для того, чтобы составить любую диаграмму (рис. 39) [16; 18; 46]. Значения фигур связаны с ощущениями во время их рисования, при движении руки.

Рис. 39. Основные фигуры визуальной фасилитации по Д. Сиббету: *1* — точка («посмотри сюда»); *2* — линии (взаимосвязь, соединение, разделение); *3* — треугольник (изменение); *4* — квадрат (формальная организация); *5* — пустая стрелка (формально организованное изменение); *6* — спираль (динамическое единство); *7* — круг (единство)

На рисунке 40 показаны базовые элементы визуальной фасилитации по Д. Роэму [45].

Рис. 40. Основные фигуры визуальной фасилитации по Д. Роэму

8. Визуальное управление и виртуальные гетерогенные коллективы

Принято считать, что идея визуального управления зародилась в концепции Тайити Оно — автора бережливого производства, стержня системы «Тойоты» (Япония) и представленной в книге «Производственная система Тойоты». Главное в этой книге — демонстрация того, как можно постоянно думать над улучшением своей работы. Восемью годами раньше Р. Арнхейм (США), автор многих работ по теории и психологии искусства, опубликовал книгу «Визуальное мышление» (1970) [46].

Визуальное мышление (англ. visual thinking) — способ творческого решения задач, проблемных в плане образного моделирования. Основа визуального мышления — мышления наглядно-действенное и наглядно-образное, где при уподобле-

нии действий предметно-практических и чувственно-практических свойствам объектов формируются внешние перцептивные действия [45].

Визуальное управление (англ. visual management) — ясный, простой и очень эффективный способ организовать работу и отчитаться о ней, так чтобы все видели работу всех, так чтобы организация стала «прозрачной» [16].

Состояние исследований в области визуального управления характеризуется известными подходами. Один из них — гэмба (англ. gemba) из японской управленческой практики. В задачах планирования и управления отечественных предприятий известны единичные успешные примеры применений ERP систем, APS алгоритмов [16]. Сюда же относят и Новочеркасскую систему непрерывного производственного планирования Родова, созданную в 60-е гг. прошлого века [47].

В [4] предложен новый класс интеллектуальных информационных систем для организации визуального управления — ВГК как комбинация методов организации заочного взаимодействия экспертов (виртуальных коллективов, виртуальных организаций) и методов гибридных интеллектуальных систем для компьютерного моделирования поиска коллективных решений экспертов — искусственных гетерогенных коллективов (ИГК).

9. Концептуально-визуальный базис виртуальных гетерогенных коллективов

Концептуальная модель (англ. concept — понятие, идея; общее представление; концепция) — модель предметной области, состоящая из перечня всех понятий, используемых для описания этой области, вместе со свойствами и характеристиками, классификацией этих понятий по типам, ситуациям, признакам в данной области и законов протекания процессов в ней [10].

Естественно-языковые концепции возбуждают и правополушарное мышление, хранящее концепции-образы. Следуя

Д. А. Поспелову [48], предложен и развит класс ролевых концептуальных моделей [10], а, следуя А. И. Уемову [49], триада «вещь — свойство — отношение» положена в основу структурирования полиязыка коллективного интеллекта, ЯПД разработчика и неформальной аксиоматической теории концептуального моделирования ВГК [4]

$$Te = \left\langle Te^{TH}, Te^{TO}, Te^{A}, Te^{BT} \right\rangle, \qquad (1)$$

где Te^{TH}, Te^{TO} — неопределяемые и определяемые термины соответственно; Te^{A} — аксиомы; Te^{BT} — высказывания-теоремы, выводимые из Te^{A} по некоторым фиксированным логическим правилам.

Категориальное ядро теории (Te^{TH}, Te^{TO}). Один из результатов в теории систем и системном анализе получен А. И. Уемовым [49], предложившим в качестве базиса системного подхода к анализу и синтезу сложных объектов триаду категорий «вещь — свойство — отношение» (рис. 41, *а*).

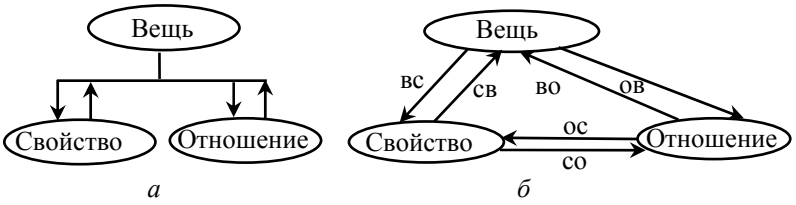


Рис. 41. Триада категорий «вещь — свойство — отношение» и фигура-форма «треугольник А. И. Уемова»

Качественное понимание вещи полностью соответствует пониманию предмета в логике и грамматике. В языке качественное понимание вещи вытесняет чисто пространственное. Качественное понимание вещи едино в онтологическом, логическом и в грамматическом планах. Категория отношения более сложная и абстрактная. Вещи и свойства часто можно непосредственно видеть, слышать, чувственно воспринимать. Отношение же чувственно не воспринимается.

На категориях вещи, свойства и отношения присутствует тройственность, поэтому фигура на рисунке 41, *б* названа «треугольник А.И. Уемова». Он графически выражает зависимость, форму определений этих категорий. Они определяются друг через друга, причем центральной, основной среди них — категория вещи. Через нее непосредственно выявляются категории свойства (дуга *св*) и отношения (дуга *ов*). В то время как категория свойства непосредственно определяется с помощью категории отношения (дуга *со*), и наоборот опосредованно через категорию вещи (маршрут *св*, длины два). Правило о запрещении круга в определении нельзя применять к определениям категорий, которые должны быть соотносительными. Что же касается практического определения отношения через вещи (дуга *ов*) и вещей через отношения (дуга *во*), то следует отметить, что как вещи можно определять через одни свойства, а эти свойства через другие вещи (маршрут *вс*, *св* длины два), так и вещи определяются одними отношениями, а эти отношения можно устанавливать через другие вещи (маршрут *во*, *ов* длины два). Чтобы это было возможно, необходимо и достаточно, чтобы одни и те же отношения существовали в различных вещах.

Остается без ответа интерпретация дуг графа на рисунке 41, *б*. Судя по авторскому тексту А.И. Уемова, дуги следует интерпретировать как «непосредственное определение». Как было показано [10], в ЯПД «непосредственное определение» обозначаются глаголами *иметь* и *быть* либо словосочетаниями *иметь имя*, *иметь характеристику*, *иметь длину*, *иметь грузоподъемность*, либо *быть средством*, *быть местом*, *быть рефрижератором*. Подобные объекты отнесены в класс «отношений определения» [10]. Тогда, следуя А.И. Уемову, в визуально-графовой интерпретации его треугольника возникает противоречие: вершина «отношение» и дуги обозначают одну и ту же сущность (если относить «непосредственное определение» к отношениям определения).

Тем не менее уместно и обоснованно положить треугольник А. И. Уемова в основу визуального базиса ВГК (в центре на рисунке 42), ограничив множество вещей вещами-ресурсами (ресурсами), так как прагматичны вещи из арсенала ЛПР для решения задач. Возможны следующие определения.

Определение 1. «Ресурс» — форма, изображающая вещь, предмет, имеющийся у субъекта визуального управления для решения задачи. Природные явления также ресурсы.

Определение 2. «Свойство» — форма, изображающая имя, качество и физические свойства.

Определение 3. «Отношение» — формообразующая категория, то, что образует ресурс из элементов (свойств или других ресурсов). Отношение — то, что, будучи установленным между формами ресурсов, образует новые формы ресурсов.

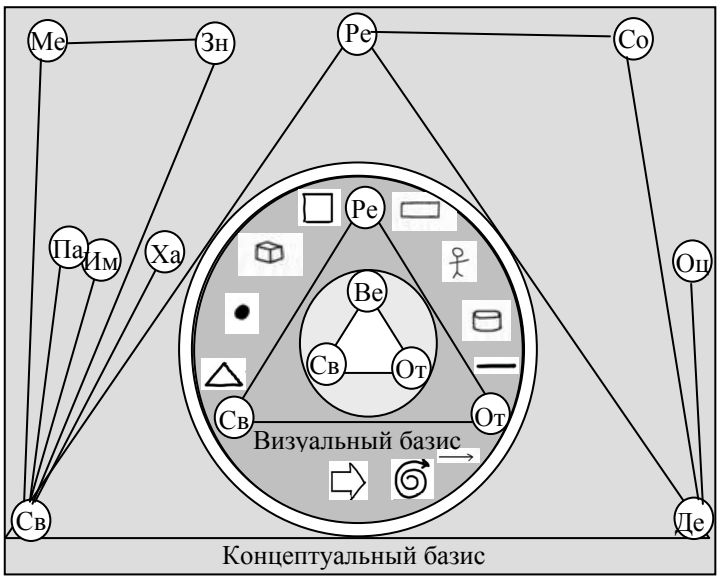


Рис. 42. Концептуально-визуальный базис ВГК:
Ве — вещь; *Св* — свойство; *От* — отношение; *Ре* — ресурс; *Де* — действие; *Им* — имя; *Па* — параметр; *Ха* — характеристика; *Ме* — мера; *Зн* — значение; *Со* — состояние; *Оц* — оценка

Графически на рисунке 42 визуальный базис обозначен серой окружностью (метафора единства и целостности визуального базиса), описанной вокруг «порождающего» треугольника «ресурс — свойство — отношение». По внутренней стороне окружности расположены общепризнанные базовые формы (по часовой стрелке: треугольник, точка, куб, квадрат, прямоугольник, фигура человека, цилиндр, линия, стрелка, спираль, фигурная стрелка), которых в сочетании с плоскостью, цветом и текстурой, по У. Боумену [19], достаточно для визуального высказывания любой сложности. Базовые формы «тяготеют» к категориям, расположенным в вершинах «порождающего треугольника». Общепринято рассматривать вещи-ресурсы как нечто земное, ограниченное качественным пониманием в пространстве, что на ментальном уровне соответствует фигуре «квадрат». С вершиной «свойство» рядом форма «треугольник». Фундаментальность и первопричинность этой формы-образа прекрасно сочетается с качественным пониманием вещей-ресурсов в философии, логике и системном анализе. Композиции, отношения треугольных форм легко образуют как простые, базовые формы «квадрат», «окружность», так и сложные графические высказывания. Расположение базовых форм около вершины «отношение» двойственно. Общепринято (теория графов, моделирование, алгоритмы, презентации, рисунки, диаграммы, схемы и др.) сопоставлять отношению линии, отрезки, стрелки формы-образы связей вещей-ресурсов из взаимодействия в пространстве и времени. Имплицитность визуализация отношений в графических высказываниях показывается специальными приемами и средствами.

Визуальный базис (окружность) («окружен оболочкой» концептуального базиса (квадрат) ВГК. Это показано имплицитным ролевым отношением *окружность внутри квадрата*. Разница фигур подчеркнута цветом. Применение отношения с именем *внутри* согласуется с соотношением языка и мышления в концептосфере З. Д. Поповой и И. А. Стернина. Концептуальный базис — это словарь лексем, над которым строятся знаковые высказывания полиязыка профессиональной дея-

тельности ИГК и ВГК, в который перекодируются графические высказывания УПК в ходе коммуникации участников — экспертов и ЛПР.

В квадрат — метафору лексического базиса ЯПД — вписана фигура — концептуальный граф «Концептуальная модель выражений ЯПД» [10] — основная часть которой — 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. Уемова, показанного в центре фигуры на рисунке 42. Непосредственное применение ядра «вещь — свойство — отношение» к анализу ЯПД затруднительно в силу нескольких причин [10]. Трудности преодолены следующим образом. Множество вещей ограничено вещами-ресурсами (ресурсами), поскольку прагматичны вещи из арсенала ЛПР для решения задач (природные явления также ресурс). Множество отношений ограничено отношениями-действиями (действиями).

Концептуальный граф «Концептуальная модель выражений ЯПД» дает простое и прозрачное структурирование внешнего мира, 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». Особенности этой модели — ролевой характер и инвариантность к специфике предметной области. Определив граф G, имеем Te^{TH} = {«вещь», «свойство», «отношение»}, Te^{TO} = {«вещь», «свойство», «отношение», «ресурс», «действие»}. На рисунке 42 показано и расширение категориального ядра концептуального моделирования: единицами измерения (мерами), значениями, состояниями, оценками, параметрами (физическими свойствами), характеристиками (характеристическими свойствами), именами (именными свойствами).

Концептуальный граф «Концептуальная модель выражений ЯПД» — визуальное представление схем ролевых концеп-

туальных моделей [10] для конструирования знаков-высказываний аксиоматической теории (1). Он построен на семи категориях: ресурса, свойства, действия, меры, значения, состояния и оценки. Классы отношений рассмотрены в [1; 10].

Концептуально-визуальный базис только один слой (уровень, аспект). Здесь существуют и внутриуровневые связи между базисными формами и лексемами. Эти связи еще предстоит определить и формализовать.

Над базисным уровнем (обозначен на рисунке 43 номером один) конструируются еще семь уровней знаковых и графических высказываний, формирующих гетерогенные визуальное ядро и языковую оболочку.

Рис. 43. Гетерогенное визуально-образное ядро в гетерогенной знаково-языковой оболочке:
Уровни знаковых и графических высказываний: *1* — концептуального и визуального базиса; *2* — о ресурсах, действиях и свойствах; *3* — иерархиях ресурсов, действий, свойств; *4* — о пространственных и производственных структурах; *5* — о состояниях, ситуациях и событиях; *6* — о задачах и проблемах; *7* — о элементах ИГК (моделях рассуждений экспертов); *8* — о ИГК (интегрированной модели рассуждений коллективного интеллекта)

Межуровневые связи не показаны, чтобы не загромождать рисунок. Отношения для знаково-языковой оболочки ЯПД исследованы на примере нескольких предметных областей, а отношения в образно-визуальном ядре еще предстоит изучить и формализовать.

10. Концептуальная модель виртуальных гетерогенных коллективов

Концептуальная модель ВГК изображена на рисунке 44.

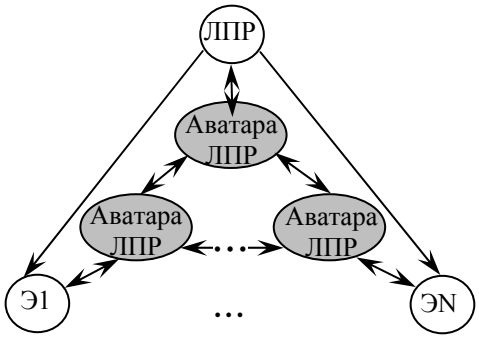


Рис. 44. Концептуальная модель виртуальных гетерогенных коллективов

Существенный элемент-нововведение в сравнении с [1] — «аватара» (англ. *avatar*, санскр. *avatāra*, нисхождение, в рус. «воплощение, явление, проявление») [50] — индуистская модель проявления божества в мире. Впервые «аватара» применена в компьютерных играх в 1985 г., но не как графический образ человека в виртуальном мире, а как высшая ступень развития пользователя — цель игры. Ближе к искусственному интеллекту понятие использовалось в фантастическом фильме Дж. Кэмерона «Аватар» (корректный перевод с англ. «Аватара»). Здесь «аватар» — искусственный гибридный организм, способный к жизни только под дистанционным управлением человеческого интеллекта. Известны медицинские виртуальные диагностические системы, например Virtual Medical Doctor [51], в которых врач-эксперт заменяется «аватарой», кото-

рая предварительно беседует с пациентом. Здесь «аватара» — трехмерное или двухмерное графическое представление (воплощение) на экране компьютера эксперта, управляемое базой знаний.

Каждая из аватар на рисунке 44 — интеллектуальный объект, не имеющий аналога в реальной жизни коллектива. Она позволяет экспертам-людям, удаленным от места проведения круглого стола или сидящим в ситуационном центре, за круглым столом очно, участвовать в обсуждениях в модельном мире — искусственном гетерогенном коллективе. Для этого они, как и в кинофильме «Аватар», должны явиться в мир ИГК в образе аватары.

ВГК комбинирует при решении гетерогенные модельное поле и визуальное поля и, когда область явлений хорошо изучена, формализована (частично формализована), подключает для поиска решений опыт, профессиональные, теоретические знания экспертов из гетерогенного модельного поля, а когда есть существенная неопределенность, не снимаемая точным анализом и логико-математическим рассуждениями, приводит в действие механизмы визуально-пространственного, образного мышления ИГК, что позволяет имитировать «скачки» в гибридном пространстве состояний виртуального гетерогенного коллектива, соответствующие мгновенному интуитивному инсайту, озарению, прерывающему логико-математические рассуждения экспертов. Предусмотрено и несколько режимов [4] вмешательства ЛПР-человека и экспертов людей в рассуждения ИГК посредством аватар.

Концептуальная модель на рисунке 44 — ответ на увеличение темпов развития групповых систем поддержки принятия решения, переносимых в неигровые виртуальные миры, повышения интерактивности интерфейсов систем поддержки принятия решений за счет средств когнитивной компьютерной графики и развития моделирования социальных процедур.

Таким образом, принципиальное отличие виртуального гетерогенного от традиционного коллектива заключается в том, что полноценными участниками первого могут быть как люди, так и виртуальные эксперты (аватары). В таких коллективах

средства вычислительной техники не просто формируют среду для общения, а виртуальные эксперты принимают непосредственное участие в решении возникающих перед коллективом задач.

В итоге всё это открывает путь для увеличения качества решений коллективного интеллекта за круглым столом.

Работа частично поддержана грантами РФФИ 16-07-00271а, 16-07-00272а.

Список литературы

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

2. *Колесников А. В.* Гетерогенные естественные и искусственные системы // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. М. : Физматлит, 2013. Т. 1. С. 86—103.

3. *Колесников А. В.* Моделирование естественных гетерогенных систем коллективного принятия решений // 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. 1. С. 7—16.

4. *Кириков И. А., Колесников А. В., Листопад С. В. и др.* Виртуальные гетерогенные коллективы, поддерживающие принятие решений // Системы и средства информатики. 2015. Т. 1, №3. С. 126—149.

5. *Кириков И. А., Колесников А. В., Листопад С. В. и др.* Гетерогенные интеллектуальные компьютерные системы поддержки принятия решений: модели координации и согласованности // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, вып. 2. С. 96—110.

6. *Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б.* Исследование лабораторного прототипа искусственной гетерогенной системы для диагностики артериальной гипертензии // Системы и средства информатики. 2014. №3. С. 121—143.

7. *Колесников А. В., Солдатов С. А.* Моделирование коллективного интеллекта, решающего сложную задачу планирования на машиностроительном предприятии // В мире научных открытий. Серия «Математика. Механика. Информатика», 2011. №12. С. 172—181.

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

9. *Гарднер Г.* Структура разума: теория множественного интеллекта. М. : Изд. дом Вильямс, 2007.

10. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.

11. *Каталевский Д.Ю.* Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении : учеб. пособие. М. : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015.

12. *Попова З.Д., Стернин И.А.* Лексическая система языка: Внутренняя организация, категориальный аппарат и приемы описания : учеб. пособие. М. : Книжный дом «Либроком», 2011.

13. *Симонов К.И.* Фрактальная концепция языка // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2011. №1 (32). С. 360—371.

14. *Лосев А.Ф.* Знак. Символ. Миф. М., 1982.

15. *Арутюнова Н.Д.* Язык и мир человека. М. : Языки русской культуры, 1999.

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

17. *Венда В.* Предисловие к русскому изданию // У. Боумен. Графическое представление информации. М. : Мир, 1971.

18. *Сиббет Д.* Визуализируй это! Как использовать графику, стикеры и интеллект-карты для командной работы. М. : Альпина Паблишер, 2014.

19. *Боумен У.* Графическое представление информации. М. : Мир, 1971.

20. *Поспелов Д. А.* Когнитивная графика — окно в новый мир // Программные продукты и системы. 1992. Т. 2. С. 4—6.

21. *Городова М.Н.* Наука Китовраса. Парадигмы древнерусского храма. М. : Вече, 2015.

22. *Геометрия* амулетов и талисманов. URL: http://www.okkult.in/magiya/geo-talisman.

23. *Треугольник*. URL: http://www.gnozis.info/?q=book/export/html/3071.

24. *Триграммы* БаГуа. URL: http://geocult.ru/feng-shui/trigrammyi-ba-gua.

25. *Когнитивная* психология / Р. Солсо. СПб. : Питер, 2006.

26. *Кажущиеся* фигуры. URL: http://www.psy.msu.ru/illusion/figures.html.

27. *Зрительные* (оптические) иллюзии. URL: http://www.diagram.com.ua/illusions/5.shtml.

28. *Мирошниченко О.Ф.* Тайны русского алфавита. Аз буки ведаю. М. : Изд-во, Епифанов, 2007.

29. *Климова Н.В.* Буквицы. URL: http://festival.1september.ru/articles/590686/.

30. *Панфилов С.Л.* Галерея фантомных изображений. URL: http://www.phantomgallery.64g.ru/gost.htm.

31. *Макаров В.А.* Строение земной коры, как результат функционирования силовых каркасов Геокристалла. URL: http://www.rusphysics.ru/files/Makarov.Stroenie_semnoy_kory.pdf.

32. *Гончаров Н., Макаров В., Морозов В.,* В лучах кристалла Земли. URL: http://www.smoliy.ru/view_alonetext.php?g=909&pda=1.

33. *Лучшие* схемы оригами. URL: http://paper-life.ru/.

34. *Базовые* элементы квиллинга. URL: http://www.happy-giraffe.ru/community/24/forum/post/37467/.

35. *Геометрический* паркет глазами М.К. Эшера. URL: http://multiurok.ru/peter-solodusha/blog/gieomietrichieskii-parkiet-glazami-m-k-eshiera.html.

36. *Мозаика* Пенроуза. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мозаика_Пенроуза.

37. *Уроки* рисования, зенарт, дудлинг, зентангл узоры и орнамент. URL: http://linedot.ru/blog/.

38. *Искусство* рисования точками. URL: http://linedot.ru/zenart/dotart/iskusstvo-risovaniya-tochkami/

39. *Построение* геометрического орнамента. URL: http://stabilo4kids.ru/masterklassy_/shkolniki_/abstrakciya_34/postroenie_geometricheskogo_ornamenta_ra_188.html.

40. *Уроки* фотографии. URL: http://prophotos.ru/inspiration.

41. *Построение* композиции. Треугольники. URL: http://journal.foto.ua/likbez/theory.

42. *Создание* векторного рисунка в Microsoft Word. Технология обработки текстовой информации. URL: http://microbik.ru/dostb/Создание+векторного+рисунка+в+Microsoft+Word+Технология+обработки+текстовой+информацииb/main.html.

43. *Дуарте Н.* Slideology. Искусство создания выдающихся презентаций. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2012.

44. *Рейнольдс Г.* Искусство презентаций. Идеи для создания и проведения выдающихся презентаций. М. ; СПб. ; Киев : Вильямс, 2014.

45. *Роэм Д.* Практика визуального мышления. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014.

46. *Арнхейм Р.* Искусство и визуальное восприятие. М. : Прогресс, 1974.

47. *Питеркин С.В.* Система Родова — советская производственная Lean-ERP. URL: www.cfin.ru.

48. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986.

49. *Уемов А.И.* Системный подход и общая теория систем. М. : Мысль, 1978.

50. *Православная* энциклопедия / под ред. Патриарха Московского и всея Руси Кирилла. М. : Православная энциклопедия, 2000. Т. 1. С. 77—78.

51. *Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б.* Использование онтологий в экспертных системах и системах поддержки принятия решений. URL: http://www.myshared.ru/slide/92940.

Г.С. Осипов

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
e-mail: gos@isa.ru

ЗНАКОВЫЕ МОДЕЛИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА СИМВОЛЬНЫМ

Введение

В искусственном интеллекте существуют задачи, решение которых в символьной парадигме сложно с вычислительной точки зрения. К числу таких задач относится, в частности, задача планирования целенаправленного поведения. При определенных условиях она принадлежит к классу n-p полных задач. Постановка этой задачи включает, к примеру, задание цели поведения. В то же время в когнитивных исследованиях под целенаправленным поведением понимается и порождение цели поведения, однако в исследованиях по искусственному интеллекту эта последняя задача даже не ставится. На мой взгляд, причина тому — ограничения символьного формализма.

© Осипов Г.С., 2016

Здесь я рассмотрю фрагмент формализма, который можно назвать знаковым или семиотическим, так как в основе его лежит понятие знака, возникшее в рамках семиотики [1; 2] и неформальным образом используемое в когнитивной психологии [3]. Результаты многих исследований в области нейрофизиологии [4; 5] свидетельствуют о возможности существования знаковых структур в картинах мира субъектов деятельности. Более того, в [6] переход с нейрофизиологического уровня на психологический, т. е., по существу, возникновение сознания связывается с формированием знаковых структур. В [7] рассмотрен механизм образования некоторых когнитивных функций и его связь с формированием языковой модели мира. Работа [8] посвящена появлению механизмов коммуникации на основе семиотического подхода. В [9] автор предложил знаковую модель мира как основу операционной компоненты робота.

В настоящей работе более точно определяется понятие знака. Рассматриваются семейство отношений и операций на множестве знаков. В рамках этого формализма оказалось возможным описать ряд типов моделей мира и когнитивных функций. Одна из них — функция целеполагания изложена в качестве примера.

1. Знак

Пусть задано множество S, которое будем называть множеством знаков. Каждый элемент $s \in S$ имеет вид $s =< n, p, m, a >$, где $n \in N$, $p \subseteq P$, $m \subseteq M$, $a \in A$. Здесь N — множество слов конечной длины в некотором алфавите, которое будем называть множеством имен; P — множество замкнутых атомарных формул языка исчисления предикатов первого порядка, которое будем называть множеством свойств; M будем называть множеством значений; A — множеством смыслов. Как множество значений M, так и множество смыслов A, поскольку это следует из психологических соображений, интерпретируется множеством действий. Каждое дейст-

вие, как это принято в искусственном интеллекте, представим с помощью правила. Напомню, что правилом [10] называется упорядоченная тройка множеств: $r =< C, A, D >$, где C — условие правила; A — множество фактов, добавляемых правилом r; D — множество фактов, удаляемых правилом r. Каждое из этих множеств, в общем случае, есть множество атомарных формул исчисления предикатов первого порядка.

Замечание 1. Термины «значение» и «смысл», или, точнее, «личностный смысл», заимствованы из психологии, где они обозначают предназначение предмета (или явления) действительности и предпочитаемый субъектом действия способ использования (или применения) предмета соответственно [12; 13].

Замечание 2. Из замечания 1 следует, что каждый знак соответствует некоторому предмету (явлению) действительности, который, с точки зрения субъекта деятельности, наделен именем, образом, общекультурным значением (предназначением) и личностным смыслом (в дальнейшем — смыслом) для субъекта деятельности.

Замечание 3. Вообще говоря, с каждым значением может быть связано несколько действий. Здесь для простоты будем с каждым значением связывать одно действие, т. е. правило. Это же относится и к личностным смыслам.

Введем далее операторы *связывания*:

$\Psi_p^m : 2^P \to 2^M$ — оператор связывания образов p со значениями m: $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$, так что $m^{(i)} = \{r \mid \mathcal{P}(r) \subseteq \mathcal{P}(p^{(i)})\}$, где $\mathcal{P}(r)$ — множество различных предикатных символов условия C правила r, интерпретирующего значение m (здесь и далее для простоты мы будем с каждым значением связывать ровно одно действие, т. е. одно правило); $\mathcal{P}(p^{(i)})$ —множество предикатных символов образа $p^{(i)}$; $p^{(i)} \in 2^P$, $m^{(i)} \in 2^M$, 2^P и 2^M — булеаны P и M соответственно.

Второй оператор $\Psi_m^a : 2^M \to 2^A$ связывает значения со смыслами: $\Psi_m^a(m^{(i)}) = a^{(i)}$, так что $a^{(i)} = \{r^* \mid \mathcal{P}(r) \subseteq \mathcal{P}(r^*)\} \neq \varnothing$, где $\mathcal{P}(r^*)$ — множество предикатных символов условия C правила r^*, интерпретирующего личностный смысл $a^{(i)}$

(здесь, как и в случае со значением, для простоты, с каждым личностным смыслом связывается ровно одно действие, т. е. одно правило); $m^{(i)} \in 2^M$, $a^{(i)} \in 2^A$, 2^A — булеан A.

Третий оператор $\Psi_a^p : 2^A \to 2^P$ связывает смыслы с образами, так что $\Psi_a^p(a^{(i)}) = p^{(i+1)}$, где $p^{(i+1)} = \mathcal{P}(r_j^*), a^{(i)} \in 2^A, p^{(i+1)} \in 2^P$.

Разумеется, вообще говоря $p^{(i+1)} \neq p^{(i)}$. Можно показать, что при определенном начальном приближении этот итеративный процесс сходится к некоторому p. При этом $\left\|\mathcal{P}(r) \cap \mathcal{P}(r^*)\right\| \geqslant 2$. Можно показать, что достаточным условием сходимости является $\mathcal{P}(r) \subseteq \mathcal{P}(r^*)$.

Если ввести оператор $\Psi_m^p = \Psi_a^p \Psi_m^a$, то легко видеть, что пара операторов Ψ_p^m и Ψ_m^p образуют соответствие Галуа. Имеет место следующее

Утверждение 1. Знак есть неподвижная точка замыкания Галуа операторов Ψ_p^m и Ψ_m^p.

2. Отношения на множестве знаков

2.1. Отношения на множестве знаков, порождаемые их образами

Пусть $S = \{s_1, s_2, ..., s_k\}$ множество знаков, $p = (\pi_1, \pi_2, ..., \pi_g)$ и $q = (\vartheta_1, \vartheta_2, ..., \vartheta_h)$ — образы знаков s_p и s_q, соответственно $(p, q \in \{\overline{1,k}\})$. Упорядоченные множества $\tau_p =< i_1, i_2, ..., i_g >$ и $\tau_q =< j_1, j_2, ..., j_h >$ будем называть типами образов знаков s_p и s_q соответственно.

Определение 1. Если для знаков s_p и s_q $\tau_p = \tau_q$ и $\forall i \ \pi_i = \vartheta_i$, $(i \in 1,2,...,g)$, то $R_1 := R_1 \cup \{(s_p, s_q)\}$.

Легко видеть, что отношение R_1 — это отношение эквивалентности на множестве образов знаков из S. Определенные ниже отношения R_2, R_3, R_4 являются отношениями включения, сходства и противопоставления соответственно.

Определение 2. Если для знаков s_p и s_q $\tau_p \subset \tau_q$ и $\forall i \in \tau_p$ имеет место $\pi_i = \vartheta_i$, то $R_2 := R_2 \cup \{(s_p, s_q)\}$ — отношение включения.

Определение 3. Если для знаков s_p и s_q $\tau_p \cap \tau_q \neq \varnothing$ и $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$ имеет место $\pi_i = \vartheta_i$, то $R_3 := R_3 \cup \{(s_p, s_q)\}$ — отношение сходства.

Определение 4. Если для знака s_p и некоторого знака s_q $\tau_p \cap \tau_q \neq \varnothing$ и $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$ имеет место $\pi_i \neq \vartheta_i$, то $R_4 := R_4 \cup \{(s_p, s_q)\}$ — отношение противопоставления.

Ясно, что каждое из определенных отношений есть подмножество S^2.

Приведенные определения суть процедуры порождения новых элементов отношений на множестве знаков. Стартуя всякий раз, когда множество знаков пополняется новым знаком (или когда множество знаков начинает использоваться), описанные процедуры либо формируют новое отношение, либо пополняют какое-либо из отношений на знаках новым элементом. Это означает, что взаимодействие образов различных знаков приводит к формированию на множестве образов неоднородной семантической сети [11] с четырьмя типами отношений: эквивалентности образов, включения образов, сходства образов и противопоставления образов.

2.2. Отношения на множестве знаков, порождаемые их значениями

На множестве знаков можно задать ряд отношений, порождаемых их значениями, однако я опишу здесь одно, на мой взгляд, наиболее важное.

В соответствии со сказанным выше, значение есть множество действий, которое субъект действия может выполнять с предметом, описываемым некоторым знаком. Однако всякому действию соответствует набор некоторых ролей, которые замещаются участниками рассматриваемого действия, примерно

так, как это описано у Филмора [14]. (Это соответствует тому, что в лексике языка действие отражается обычно глаголом, девербативом, причастием, деепричастием, которые можно охарактеризовать набором семантических валентностей.)

Таким образом, со значением каждого знака я буду связывать некоторое упорядоченное множество, которое будет называться набором его ролей. Понятно, что каждая роль также может замещаться некоторым знаком. Эти соображения лежат в основе формирования отношения на множестве знаков, порождаемого значениями последних, которое уместно назвать сценарным.

Итак, если $I = \{i_1, i_2, ..., i_q\}$ — множество всех возможных ролей, то значение каждого знака есть некоторое подмножество этого множества (Для простоты я буду здесь полагать, что каждое значение содержит одно действие.) Пусть теперь s_p — знак со значением $m(s_p) =< i_1, i_2, ..., i_k >$, где $i_1, i_2, ..., i_k \in I$; s_q — некоторый знак.

Определение 5. Если для знаков s_p и s_q имеет место s_q / i_j (знак s_q замещает роль i_j), $i_j \in m(s_p)$, то $R_5 := R_5 \cup \{(s_p, s_q)\}$. Как уже было сказано, это отношение уместно назвать сценарным. Понятно, что отношение R_5 позволяет порождать сложные конструкции — сценарии, которые суть сети знаков, связанных посредством значений и имен последних.

2.3. Отношения на множестве знаков, порождаемые их смыслами

На множествах знаков (личностных смыслов) естественным образом порождаются отношения поглощения, противопоставления и агглютинации, порождаемые их смыслами (личностными смыслами).

Напомню, что всякому смыслу соответствует некоторое множество действий. Здесь для простоты, как и выше, положим, что каждому смыслу соответствует одно действие, которое описывается правилом $r =< C, A, D >$.

Пусть по-прежнему $S = \{s_1, s_2, ..., s_k\}$ — множество знаков, a_1 и a_2 — смыслы знаков s_1 и s_2 соответственно.

Определим следующие отношения на множестве личностных смыслов:

1. $\sqsubseteq (a_1, a_2)$ или $(a_1 \sqsubseteq a_2)$ (читается «смысл a_1 поглощается смыслом a_2»), если $A(r_1) \subseteq A(r_2)$ или $D(r_1) \subseteq D(r_2)$, где $A(r_1)$, $A(r_2)$ и $D(r_1)$, $D(r_2)$ суть множества фактов, добавляемых и удаляемых правилами r_1 и r_2 соответственно; тогда $R_6 := R_6 \cup \{(s_1, s_2)\}$.

2. $\perp (a_1, a_2)$ или $a_1 \perp a_2$ («смысл a_1 противопоставлен смыслу a_2»), если $\forall P(x_1, x_2, ..., x_n) \in A(r_1)\ \exists P(x_1, x_2, ..., x_n) \in D(r_2)$; тогда $R_7 := R_7 \cup \{(s_1, s_2)\}$.

3. Операции на множестве знаков

Рассмотрим вначале в качестве примера операцию *обобщения*.

Операция обобщения Θ определена на множестве пар знаков, принадлежащих отношению R_3; результатом работы Θ является новый образ, включающий все *общие* признаки исходных образов. А именно, если π — множество образов, $p_1, p_2 \in \pi$, $p_1 = (x_1, x_2, ..., x_g)$ и $p_2 = (y_1, y_2, ..., y_h)$, тогда $\Theta : \pi \times \pi \to \pi$ так, что для всяких $p_1, p_2 \in \pi$, таких, что $(p_1, p_2) \in R_3$ $\Theta(p_1, p_2) = p_3$, где $p_3 = (z_1, z_2, ..., z_l)$, 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. Соответствующая процедура описана в п.1. Можно показать, что R_3 является нижней полурешеткой относительно операции Θ.

Операция замыкания по значениям $\Pi(s_1, \mathrm{i_j}, s_2)$. Если s_1 — знак со значением $m(s_1)$ и $\mathrm{i_j} \in m(s_1)$ — одна из ролей этого

значения, то операция строит новый знак s_1^*, в котором роль i_j замещена знаком $s_2(s_2/\mathrm{i}_j)$. При этом образы, смыслы и значения исходных знаков объединяются.

Операция агглютинации $\nabla(s_1, s_2) = s_3$. Если s_1, s_2 — знаки, a_1 и a_2 — их смыслы, то операция агглютинации формирует новый знак s_3 со смыслом a_3, где $A(r_3) = A(r_1) \cup A(r_2)$ либо $D(r_3) = D(r_1) \cup D(r_2)$. Понятно, что в обоих случаях $C(r_3) = C(r_1) \cap C(r_2)$, где C — множества условий правил r_3, r_1 и r_2, A и D — множества фактов, добавляемых и удаляемых правилами r_1 и r_2, соответственно.

4. Приложения к когнитивной психологии и синтезу поведения

4.1. Картины мира субъекта деятельности

Выше мы видели, что на множестве знаков формируются три основных типа структур, порождаемых семействами отношений на образах, значениях и смыслах. Каждую из них в соответствии с [7] уместно называть неоднородной семантической сетью.

Таким образом, имеем семантическую сеть H_P на множестве образов, семантическую сеть H_A на множестве личностных смыслов и семантическую сеть H_M на множестве значений знаков.

Тройку объектов $H = < H_P, H_A, H_M >$ будем называть *семиотической* сетью.

Переходы между сетями H_P, H_A, H_M реализуются, как следует из предыдущего, посредством процедур Ψ_m^a, Ψ_a^p и Ψ_p^m, описанных выше.

Уровень имен знаков может наследовать каждую из описанных выше семантических сетей. Благодаря такому наследованию можно говорить о формировании той или иной семантической сети на уровне знаков (не только на уровне их компонент).

С другой стороны, в психологии существует понятие *картины мира* субъекта. Можно выделить три основных типа картин мира: рациональная, житейская и мифологическая [9] и еще шесть типов вырожденных.

Мы видели, что на сети H_P можно определить операции обобщения (и классификации) по признакам. Именно эти операции характерны для рациональной картины мира. На основе этих соображений и ряда психологических экспериментов (описание которых остается за пределами настоящего доклада) можно полагать, что именно сеть на множестве образов (и ее наследование на уровень имен знаков) лежит в основе рациональной картины мира. Здесь надо подчеркнуть важность слов «в основе». Все типы картин мира применяют сети на образах, смыслах и сценарии, но есть некоторая «управляющая» сеть, которая служит для формулирования цели, поиска подходящих действий, вызова сценариев и изменения личностных смыслов. Например, в рациональной картине мира в сети на образах вырабатывается цель, затем на значениях находятся подходящие роли в сценарии как условия выполнения действий для достижения цели, затем учитываются смыслы объектов, которые могут быть мотивами или препятствиями, или средствами для достижения цели. Известны и вырожденные картины мира, в которых используются не три, а только две сети.

Житейская картина мира характеризуется следованием некоторым стереотипам или сценариям поведения. Таким образом, наследование на уровень имен знаков сети на значениях приводит к формированию *житейской* картины мира. Здесь также следует отметить, что сеть на значениях является лишь ведущей: моделирование, например, картины мира чиновников реализуется на двух сетях — сценариев и личностных смыслов. Поэтому при возникновении нового предмета потребности (например, выделение бюджета на науку и культуру) находится сценарий, в котором смысл цели из амбивалентного превращается в смысл препятствия. Поскольку в этом процессе не присутствуют образы, то речь идет о вырожденной картине мира. В общем случае в житейской картине мира выбранный сценарий (на сети значений) пополняется

образами тех объектов (в том числе партнеров), которые наилучшим образом (в соответствии с оценкой на сети смыслов) могут исполнять записанные в сценарии роли (например, начальник подбирает исполнителей в новую группу для «хорошего» выполнения нового вида работ, или жених и невеста составляют список гостей на свадьбу в соответствии со своими представлениями о том, как должна выглядеть «хорошая» свадьба).

В мифологической картине мира каждая роль имеет неизменный смысл и заданный образ, т. е. ведущей в этом случае является сеть на смыслах. Иначе говоря, наследование сети H_A на уровень имен знаков приводит к формированию *мифологической* картины мира.

Добавим здесь, что именно картины мира субъектов деятельности — это та среда, в которой осуществляются различные когнитивные функции, такие как интроспекция, рефлексия, целеполагания. Рассмотрим ниже в качестве примера реализацию одной из важнейших функций — функции целеполагания.

4.2. Задача целеполагания

Применим развитый выше аппарат к задаче целеполагания — выдвижения новой цели поведения.

Целеполагание — сложный процесс, включающий в себя не только нахождение цели, но и выявление условий и конкретного способа ее достижения. Как уже было сказано, характер процесса целеполагания определяется типом картины мира субъекта. В случае житейской картины мира ведущим компонентом выступает *значение*, т. е. субъект отталкивается от сюжетно-ролевой структуры и использует уже существующие знаки, чтобы выбрать подходящую ситуацию, которая и будет целевой. Иначе говоря, процесс целеполагания осуществляется в рамках какой-либо деятельности, когда мотив деятельности осознан, т. е. знак предмета потребности включен в картину мира субъекта деятельности. Тогда мотивом деятельности (в житейской картине мира) становится значение (m) этого знака.

Главная идея, лежащая в основе данного процесса, состоит в следующем: поскольку знак предмета потребности включен в картину мира субъекта, то следует найти такой знак (или построить сценарий), личностный смысл которого обеспечил бы достижение предмета потребности. На семантическом или операционном уровне это означает поиск или построение такого знака (или сценария), в структуре личного смысла которого существует действие (или существуют действия), результатом применения которого (или которых — в случае сценария) к текущей ситуации становится образ предмета потребности.

Следовательно, на семантическом уровне целевым будем называть такой знак, в структуре личностного смысла которого существует действие, применение которого приводит к формированию признаков образа предмета потребности (удовлетворению потребности). Процесс целеполагания, таким образом, заключается в поиске такого знака или построения сценария, из которого достижим мотив, т. е. удовлетворяется потребность.

В соответствии со сказанным выше, значение знака будем представлять в виде множества пар «действие — роль предмета в этом действии». Образ (p) такого знака — в виде набора свойств, т. е. пар «признак — значение признака». Личностный смысл (a) — в виде правила, соответствующего предпочтительному действию субъекта с предметом.

Далее, s^* — знак, значение которого m^* является мотивом.

В приведенном ниже алгоритме будем использовать как синтаксические, так и семантические соображения, особенно не подчеркивая этого обстоятельства.

Шаг 1: переход $m^* \to a_1$. Поиск на подсети значений такого значения m_1, знак s_1 которого обладает личностным смыслом a_1 таким, что соответствующее ему действие в множестве добавляемых признаков $A(r_1)$ содержит множество признаков p^* знака s^*.

Иначе, переход к шагу 2.

Шаг 2: переход $m_1 \to a_2$. Поиск на подсети значений такого значения m_2, что соответствующий ему знак s_2 в множестве личностных смыслов a_2 содержит такое правило r_2, которое в множестве добавляемых фактов $A(r_2)$ содержит множество $p^* \setminus A(r_1)$. Если $p^* \subseteq A(r_1) \cup A(r_2)$, то процесс завершен, построенный сценарий есть цель.

Иначе процесс поиска на сети значений повторяется до тех пор, пока не будет построен сценарий из знаков $s_1, s_2, \ldots, s_n$, таких что $p^* \subseteq A(r_1) \cup A(r_2) \cup \ldots \cup A(r_n)$, где $r_1, r_2, \ldots, r_n$ — действия, соответствующие знакам $s_1, s_2, \ldots, s_n$ соответственно.

Несколько слов о синтезе плана поведения.

Хорошо известно, что задача планирования при определенных условиях относится к классу EXPSPACE полных. Иными словами, ее вычислительная сложность экспоненциальна (по памяти). При этом показателем экспоненты выступает общее число правил в системе — N. Можно показать, что в случае планирования на знаковой картине мира сложность также будет экспоненциальна, однако показателем экспоненты будет N^* — число правил в структуре персонального смысла такого знака, в котором это число максимально.

Ясно, что чем меньше знаков в модели мира субъекта деятельности, т. е. чем проще, чем менее дифференцирована модель мира, тем больше N^*. В вырожденном случае, когда в модели мира содержится один знак, $N = N^*$.

Заключение

В докладе рассмотрены основы нового формализма, коррелирующего с имеющимися нейрофизиологическими и психологическими данными о структуре и функционировании картины мира субъекта деятельности. Предложенный формализм позволяет описать ряд когнитивных функций, таких как интроспекция, рефлексия, целеполагание и некоторых других,

и повысить степень понимания когнитивных процессов. Показана одна из когнитивных функций — функция целеполагания. Дальнейшее развитие формализма связано с работами по многоагентным и робототехническим системам, в которых предполагается автоматическое (или полуавтоматическое) формирование картин мира в результате коммуникации, работы зрительных и слуховых механизмов и реализация на основе этого механизмов распределения заданий коалициях, механизмов целеполагания и согласования целей. Реализация таких функций позволит существенно повысить степень автономности подобных систем и их коалиций.

Список литературы

1. *Peirce C. S.* Issues of Pragmaticism // The Monist. 1905. Vol. 15, №4. P. 481—499.

2. *Frege G.* On sense and reference // Philosophical writings of Gottlieb Frege / ed. P. T. Geach & M. Black. (Original work published in 1892). Blackwell, 1952.

3. *Leontyev A. N.* The Development of Mind. Kettering: Erythros Press and Media, 2009.

4. *Edelman G., Mountcastle V.* The Mindful Brain. Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function. Cambridge, Massachusets: The MIT Press, 1978.

5. *Desmedt J., Tomberg C.* Neurophysiology of preconscious and conscious mechanisms of the human brain //Abstr. Xth Intern. Congr. of Electromyography and Clin. Neurophysiol. Kyoto, Japan: Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 1995. Vol. 97, №4. P. 4.

6. *Ivanitsky A. M.* Information synthesis in key parts of the cerebral cortex as the basis of subjective experience // Neuroscience and Behavioral Physiology. 1997. Vol. 27(4). P. 414—426.

7. *Friederici A. D., Singer W.* Grounding language processing on basic neurophysiological principles // Trends in Cognitive Sciences. 2015. Vol. 19(6). P. 329—338. URL: http://doi.org/10.1016/j.tics.2015.03.012.

8. *Loula A., Queiroz J.* Synthetic Semiotics: on modelling and simulating the emergence of sign processes // AISB/IACAP World Congress 2012: Computational Philosophy, Part of Alan Turing Year 2012. Birmingham, 2012. P. 102—129.

9. *Roy D.* Semiotic schemas: A framework for grounding language in action and perception // Artificial Intelligence. 2005. 167(1—2). P. 170—205. URL: http://doi. org/10.1016/j. artint.2005.04.007.

10. *Nilson N.J.* Principles of Artificial Intelligence. Tioga Publishing, CA 94302, 1980.

11. *Osipov G.S.* Formulation of Subject Domain Models: Part 1. Heterogeneous Semantic Nets // Journal of Computer and Systems Sciences International. N. Y. : Scripta Technica Inc., 1992.

12. *Osipov G., Panov A., Chudova N.* Semiotic foundations of consciousness functions // Proceedings of the First Conference of the International Association for Cognitive Semiotics (IACS-2014). September 25—27, 2014. Lund : Lund University, 2014. P. 211.

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

14. *Fillmore C.J.* The Case for Case // Universals in Linguistic Theory. N. Y. : Holt, Rinehart, and Winston, 1968. P. 1—88.

15. *Чудова Н.В.* Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. №2. С. 51—62.

И.Б. Фоминых, А.К. Пожидаев, С.В. Романчук
Национальный исследовательский университет МЭИ, Москва, Россия
e-mail: igborfomin@mail.ru

ИМИТАЦИЯ РАССУЖДЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МЯГКОГО И ЖЕСТКОГО РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Введение

В последние десятилетия одним из наиболее значимых направлений искусственного интеллекта как в теоретическом, так и прикладном аспектах стало исследование и проектирование динамических систем реального времени. Специалисты выделяют в основном два класса таких систем: интеллектуальные системы мягкого и жесткого реального времени.

© Фоминых И.Б., Пожидаев А.К., Романчук С.В., 2016

Для систем мягкого реального времени характерно постепенное ухудшение функционирования, когда запаздыванием с реакцией на изменения во внешней среде можно пренебречь. В реальной жизни такая идеализация не всегда приемлема, особенно в системах жесткого реального времени, в которых промедление с реакцией после определенного временного порога может приводить к необратимому (катастрофическому) развитию событий. Для таких систем адекватно понятие временного порога, превышение которого недопустимо. Интеллектуальная система жесткого реального времени это не только и даже не столько «быстрая» система, но главным образом это система, знающая о временных порогах и способная планировать свою работу в соответствии с ними.

Специфика интеллектуальных систем жесткого реального времени состоит в том, что дефицит времени в таких системах является основным фактором, обусловливающим неполноту используемых знаний и данных. В этих условиях оказывается неприемлемым одно из фундаментальных свойств, принятых в существующих темпоральных немонотонных логических системах, состоящее в том, что время, необходимое для проведения рассуждений, не учитывается — мир как бы останавливается, пока агент, поведение которого моделируется этими системами, рассуждает.

Для моделирования рассуждений в мягком реальном времени были предложены различные варианты темпоральных логик, в том числе темпоральные логики умолчаний.

1. Формализмы моделирования рассуждений в системах мягкого реального времени

Линейная темпоральная логика с часами TLC (Temporal Logic with Clock) относится к темпоральным логикам с множественной грануляцией времени. Исходно она предназначалась для целей верификации реактивных систем, т. е. систем, реагирующих на импульсы, поступающие из внешней среды. Благодаря множественной грануляции времени TLC особенно

хорошо зарекомендовала себя при верификации реактивных систем с параллельными асинхронными процессами, между которыми происходит обмен информацией. В дальнейшем TLC успешно использовалась как теоретическая основа при построении некоторых динамических систем, основанных на знаниях [1]. TLC можно рассматривать как расширение ЛПП (логики первого порядка).

Словарь TLC помимо констант, переменных, функциональных и предикатных символов, примитивных пропозициональных связок и кванторов включает также четыре модальных временных оператора: first (*начальный момент времени*), next (*следующий момент времени*), □ (*всегда*) и двойственного ему оператора ◊ (*иногда*).

Под часами понимаются всевозможные конечные и бесконечные подпоследовательности бесконечно возрастающей последовательности над множеством натуральных чисел ω.

Каждая формула TLC при любой конкретной темпоральной интерпретации ассоциируется со своими *локальными часами* в соответствии с *назначением часов* ck (= отображение из множества LP предикатных символов во множество всех часов CK, т. е. $ck \in [LP \rightarrow CK]$). При этом конкретные значения каждая формула TLC приобретает только для моментов времени на ее локальных часах (в остальные моменты времени значение формулы не определено).

Линейная временная логика с часами TLC_0 [2] выступает упрощенным пропозициональным вариантом логики TLC.

Упрощение связано с отсутствием в TLC_0 множественной грануляции времени, что отражается в определении часов. Часы, которые, следуя принятой в TLC терминологии, обозначаются как *gck* (*global clock*), — это конечная или бесконечная возрастающая последовательность натуральных чисел над ω или его подмножеством, т. е. $gck = < 0, 1, 2, 3, \ldots >$, общая для всех элементов сигнатуры конкретной теории TLC_0. Члены данной последовательности мыслятся как моменты времени на часах *gck*.

В TLC_0 при конкретной интерпретации значением любой пропозициональной переменной p является отображение из ω в двухэлементное множество {*истина, ложь*}, т. е. в каждый момент времени на часах *gck* каждый пропозициональный («чистый») атом либо истинен, либо ложен в зависимости от этой интерпретации.

Помимо чистых атомов в TLC_0 определены также так называемые темпоральные атомы, которые получаются из чистых атомов посредством добавления к ним темпоральных приставок, т. е. последовательностей, состоящих из операторов first и next. Темпоральной литерой называются темпоральный атом или его отрицание. Если L — темпоральная литера, то модальной литерой называется формула вида $\Box L$ или $\Diamond L$.

Язык логического программирования Temporal Datalog [3] был предложен как средство моделирования темпоральных дедуктивных баз данных и может рассматриваться также как темпоральное расширение (на основе TLC, но без множественной грануляции) хорошо известного языка логического программирования Datalog, декларативная семантика которого принадлежит ван Эмдену и Ковальскому и носит название семантики минимальных моделей [4]. Соответственно, семантика языка Temporal Datalog является ее темпоральным вариантом. Программа на языке Temporal Datalog — это множество правил вида

$$A_0 \leftarrow A_1,\ldots,A_m, \qquad (1)$$

где $m \geqslant 0$, A_i — темпоральный атом. Предполагается, что каждый темпоральный атом в правиле находится в области действия одного и того же темпорального модального оператора $\Box$. Минимальная модель темпоральной логической программы Π определяется как минимальное множество темпоральных атомов, замкнутое относительно входящих в программу правил, т. е. если $A_1,\ldots,A_m$ входят в минимальную модель программы Π, элементом которой выступает правило (1), то и A_0 входит в ее минимальную модель.

Темпоральная логика умолчаний TDLC (*Temporal Default Logic with Clock*) [5] была предложена как средство моделирования пересматриваемых рассуждений в интеллектуальных системах реального времени (ИСРВ). TDLC строится аналогично обычной логике умолчаний Р. Рейтера [6] (в дальнейшем обозначаемой DL). DL формализует рассуждения с умолчаниями с помощью специальных предметно-зависимых правил вывода, называемых умолчаниями. Умолчания в DL имеют следующий вид:

$$\frac{\alpha : M\beta_1, \ ..., \ M\beta_m}{\gamma},$$

где α (требование умолчания); β_1, ..., β_m (обоснования умолчания); γ (следствие умолчания) — суть формулы обычной логики первого порядка; M — символ метаязыка.

Интуитивно умолчания имеют следующий смысл: если мы верим в α и β_1, ..., β_m не противоречит всему, во что мы верим, то можно верить и в γ. Система логики умолчаний представляется в виде теории с умолчаниями.

Теория с умолчаниями Δ — это пара $< D, F >$, где D — множество умолчаний; F — множество замкнутых формул логики первого порядка.

Такая теория подразумевает существование некоторого (нулевого или больше) числа минимальных по включению множеств совместно выполнимых формул. Эти множества называются расширениями и соответствуют различным картинам мира, которые можно представить, исходя из теории с умолчаниями.

Формулы, входящие в какое-либо расширение теории с умолчаниями $\Delta =< D, F >$ либо являются элементами множества F, либо выводятся из него по правилам классической логики и/или логики умолчаний. Отличие TDLC от DL в основном обусловлено тем обстоятельством, что в ее основе лежит TLC, а не ЛППП.

Умолчания в TDLC имеют вид

$$\varphi : M\psi / \psi , \qquad (2)$$

где φ и ψ — формулы TLC.

Систему логики TDLC составляют темпоральные теории с умолчаниями $\Delta^t = <D^t, F^t, P, \mathrm{ck}>$, где D^t — множество темпоральных умолчаний вида (2); F^t — множество формул TLC; P — множество всех предикатных символов, встречающихся в элементах множеств D^t, F^t; ck — назначение часов.

Темпоральная логика умолчаний TDLC$_0$ [5] отличается от *TDLC* тем, что в ее основе лежит TLC_0, а не TLC, а также ограничениями, наложенными на синтаксис умолчаний, в частности, теории с умолчаниями не обязательно должны быть нормальными. Умолчания в TDLC_0 имеют вид

$$A_1 \wedge \ldots \wedge A_n : MB_1, \ldots, MB_m / C ,$$

где $A_1, \ldots, A_n, B_1, \ldots, B_m, C$ — темпоральные или модальные литеры.

Темпоральная логика умолчаний TDLC$_{0+}$ [5] является обобщением TDLC_0. Умолчания здесь имеют вид

$$\varphi : \psi_1, \ldots, \psi_m / \lambda ,$$

где $\varphi, \psi_1, \ldots, \psi_m, \lambda$ — любые формулы TLC_0.

2. Формализмы моделирования рассуждений в жестком реальном времени

Как было отмечено выше, в системах жесткого реального времени нельзя не учитывать времени, затрачиваемого на рассуждение, ибо это может приводить к катастрофическому развитию событий. Для таких систем адекватно понятие временного порога, превышение которого недопустимо.

Для моделирования рассуждений в жестком реальном времени были предложены различные версии активной (шаговой) логики [7], которые дают возможность наблюдать за процессом рассуждения агента *во время* его осуществления.

Создатели активной логики подчеркивают ее принципиальное отличие от других, «более традиционных» немонотонных систем, таких, например, как логика умолчаний, автоэпистемическая логика и т. д. На сегодня известно более сотни различных темпоральных логик, назначение которых состоит в формализации *рассуждений о времени* (reasoning about time). Процесс рассуждения при этом происходит как бы вне времени: мир как бы останавливается, пока система «думает».

Для систем жесткого реального времени при решении задач важно уметь оценивать количество времени, имеющегося в их распоряжении «на размышления» до того момента, когда думать уже будет поздно. Для этого необходимо уметь соотносить по времени шаги и результаты проводимых рассуждений с событиями, происходящими во внешней среде. Рассуждения такого типа получили название *рассуждений во времени* (reasoning situated in time).

Как правило, эпистемические логики дают возможность рассуждать о процессе рассуждения агента в целом *после* его фактического осуществления. Активная (шаговая) логика системы дает возможность наблюдать за процессом рассуждения агента *во время* его осуществления.

Общая концепция активной логики изложена в [7]. Как модель дедукции активная логика характеризуется языком, множеством дедуктивных правил, а также множеством «наблюдений». Если предположить, что агент рассуждает, находясь в статической среде, множество наблюдений может рассматриваться как часть исходной базы знаний дедуктивной системы, т. е. как множество утверждений, поддерживающих дедуктивный процесс, в результате которого порождаются новые знания. Однако использование *функции наблюдения* позволяет моделировать динамическую среду, информация о которой поступает к агенту по мере происходящих в этой среде изменений.

Рассуждение во времени характеризуется выполнением циклов дедукции, называемых *шагами* [8]. Так как в основе активной логики лежит дискретная модель времени, то эти шаги играют роль временного эталона — время измеряется в шагах. Знания агента ассоциируются с индексом шага, на ко-

тором они были впервые получены. Принципиальное отличие активной логики от других темпоральных эпистемических логик состоит в том, что темпоральные аргументы введены в язык собственных теорий агентов. Таким образом, временной параметр связывается не только с каждым утверждением (формулой), которое эксплицитно знает агент, но и с дедуктивными правилами вывода. То, что узнал агент на шаге t (t-знания), используется для вывода новых знаний на шаге $(t+1)$. Дедуктивные правила вывода в активной логике имеют следующий вид:

$$\frac{t:\ \phi,\psi}{t+1:\phi\wedge\psi}\ \text{конъюнкция},$$

$$\frac{t:\ \phi\wedge\psi}{t+1:\phi}\ \text{отсоединение},$$

$$\frac{t:\ \phi}{t+1:\phi}\ \text{наследование},$$

$$\frac{t:\ \phi,\phi\to\psi}{t+1:\psi}\ \textit{modus ponens}.$$

Наблюдения могут осуществляться на любом шаге дедуктивного процесса. Результатом наблюдения является формула, выражающая некоторое утверждение и ассоциированная с соответствующим шагом. Для иллюстрации реализуемого по шагам процесса рассуждений предположим, что агент изначально знает (на шаге t), что $\phi\to\psi$ и $\psi\to\chi$, и на шаге $(t+1)$ он наблюдает ϕ. В приведенном ниже списке формул показано, какие *новые* знания появляются на каждом шаге при использовании агентом дедуктивных правил наследования и *modus ponens*.

$$\begin{aligned} t:&\ \ldots\ \phi\to\psi,\ \psi\to\chi,\ \ldots\\ t+1:&\ \ldots\ \phi\\ t+2:&\ \ldots\ \psi\\ t+3:&\ \ldots\ \chi \end{aligned}$$

3. Процедурная семантика активной логики

Процесс рассуждений в данной системе активной (шаговой) логики может быть представлен как последовательность шагов (далее шагов вывода), на каждом из которых формируется так называемое множество мнений (belief set), представляющее собой множество формул на языке, близком к языку логики первого порядка, представленное эксплицитно [9]. Каждому шагу вывода соответствует номер, который трактуется как момент времени на линейных дискретных часах. Этот номер вводится при помощи специального литерала, имеющего вид $\mathrm{now}(i)$, где i — номер шага вывода. На этот номер могут делаться ссылки в формулах, что позволяет соотносить во времени шаги вывода с другими событиями, происходящими в системе и вокруг нее. Это свойство активной логики получило название темпоральной чувствительности. В любой известной версии активной логики шаг вывода представляет собой применение всех выполнимых на данный момент правил вывода (это полностью определяется текущим множеством мнений). Состав и структура правил вывода отличается в различных версиях активной логики, но немонотонный характер проводимых рассуждений всегда определяется использованием двух принципов: 1) *обнаружения и исправления противоречий* и 2) *негативной интроспекции*. Первый принцип состоит в выявлении и, по возможности, устранения в текущем множестве мнений так называемых прямых противоречий, т. е. литералов, образующих контрарную пару (в дальнейшем для любого литерала, например q, будем обозначать его дополнение до контрарной пары как $-q$).

Второй принцип состоит в использовании проблемнозависимых правдоподобных правил вывода, позволяющих делать заключения на основе утверждений, интерпретируемых как «на момент выполнения данного шага вывода неизвестно, что φ» (где φ некоторая формула, обычно литерал).

Систему активной логики образуют так называемые шаговые теории $T = (R, >)$, представляющие собой множества правил R с заданным на них бинарным отношением предпочтения $>$. Множества правил разбиты на два подмножества — строгих и правдоподобных правил. Первые представляют надежные знания и могут рассматриваться как монотонная часть шаговой теории. Строгие правила — это формулы вида

$$N : a_1 \wedge a_2 \ldots \wedge a_m \to b,$$

где $a_1 \ldots a_m$ — пропозициональные литералы или литералы языка логики первого порядка вида $\mathrm{now}(j)$, где j — натуральное число; b — пропозициональный литерал; N — строка символов, обозначающая имя.

Правдоподобные правила имеют вид

$$N : a_1 \wedge a_2 \ldots \wedge a_m \Rightarrow b.$$

Правила этого вида выражают описанный выше принцип негативной интроспекции в следующей интерпретации: если выполняется формула $a_1 \wedge a_2 \ldots \wedge a_m$ и на данном шаге вывода неизвестно, выполняется ли формула (являющаяся литералом) $-b$, то допустимо предположить, что выполняется формула b.

При этом полагается, что все строгие правила имеют один и тот же приоритет, превосходящий приоритет любого правдоподобного правила.

Заключение

В работе изложена концепция и некоторые средства формализации для моделирования рассуждений когнитивного агента в динамических системах мягкого и жесткого реального времени. Особое внимание уделено одному из вариантов формализации рассуждений в условиях жестких временных ограничений — системе активной (шаговой) логики. Представлен ее синтаксис и процедурная семантика.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-07-00396, 14-07-00373, 15-07-02320).

Список литературы

1. *Liu C., Orgun M.A.* Verification of reactive systems using temporal logic with clocks // Theoretical Computer Science. 1999. Vol. 220. P. 377—408.

2. *Виньков М.М., Фоминых И.Б.* Преобразование временных теорий с умолчаниями в расширенные логические программмы // Международный конгресс «Искусственный интеллект в XXI» ICAI' 2001. М.: Физматлит, 2001. С. 92—106.

3. *Orgun M.A., Ma W.* An overview of temporal and modal logic programming // First Int. Conf. on Temporal Logic / Gabbay D.M., Ohlbach H.J. (eds.). 1994. Vol. 827 of LNAI. P. 445—479.

4. *Gelfond M., Lifschitz V.* Classical negations in logic programs and deductive data bases // New generations computing. 1991. Vol. 9. P. 365—385.

5. *Виньков М.М., Фоминых И.Б.* Формализация рассуждений с умолчаниями в интеллектуальных системах реального времени // Сб. науч. тр. VII национальной конференции с международным участием «Искусственный интеллект — 2000». Переславль-Залесский, 2000. Т. 1. С. 197—206.

6. *Reiter R.* A logic for default reasoning // Artificial Intelligence. 1980. Vol. 13, №.1—2. P. 81—132.

7. *Elgot-Drapkin*. Step Logic: Reasoning situated in time. PhD thesis. Department of computer science, University of Maryland, Colledge-Park, Maryland, 1988.

8. *Purang K., Purushothaman D., Traum D. et al.* Practical Reasoning and Plan Executing with Active Logic // Proceedings of the IJCAI'99 Workshop on Practical Reasoning and Rationality. Stockholm, 1999. P. 30—38.

9. *Виньков М.М.* Аргументационная семантика для шаговых теорий активной логики // Сб. науч. тр. X национальной конференции с международным участием «КИИ — 2006». Обнинск, 2006. Т. 1. С. 64—72.

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

СПЕЦИФИКАЦИЯ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ В ОНТОЛОГИЯХ ДЛЯ ПОТОКОВ РАБОТ

Введение

Поток работ (workflow) — это представление процесса, участники которого (агенты — люди или программы), имея общую цель, выполняют некоторый набор задач в соответствии с определенными правилами и ограничениями [1]. Успешное завершение процесса зависит от корректной синхронизации и расписания выполнения задач.

Понятие потока работ появилось в бизнес-информатике в задачах автоматизации бизнес-процессов. Но в настоящее время техника потоков работ используется во многих других областях, а именно: медицинская информатика, биоинформатика (в частности, геномика), автоматизация научных исследований, автоматизированное проектирование производства. Важным применением потоков работ является проектирование веб-сервисов в Интернете [2]. Понятие потока работ — центральное для процесс-ориентированных информационных систем (PAIS — Process-Aware Information Systems), [3].

Онтология — это описание знания (в терминах понятий, объектов, их атрибутов и отношений), необходимого для решения данного класса задач, [4]. В частности, онтологии могут быть использованы для представления знаний о потоках работ. *Формальная онтология* является описанием взаимосвязанных понятий, выполненным в соответствующих формальных языках для спецификации онтологий [5]. *Формальное понятие* с именем C интерпретируется как тройка $(U^C, E^C, \sim^C)$, где U^C — *универсум* понятия (т. е. множество возможных имен для обозначения возможных примеров понятия), $E^C \subseteq U^C$, E^C — мно-

© Плесневич Г. С., 2016

жество всех имен, обозначающих *примеры* (instances) понятия и $\sim^C$ — отношение эквивалентности на множестве E^C, именуемое *кореференцией*. Множество E^C вместе с отношением $\sim^C$ называется *экстенсионалом* понятия *C*. (Кореферентные имена обозначают одинаковые объекты моделируемой предметной области.)

Для определения универсумов понятий можно применять язык структурной спецификации **ЯСС**, входящий в систему «Бинарная Модель Знаний» [5; 6]. Предложение на языке **ЯСС** позволяет задавать универсум понятия как множество кортежей, содержащих *суррогаты s* (идентификаторы индивидных объектов) и выражения вида $A{:}s$, $A{:}\{s_1, s_2,\ldots, s_k\}$ и $A{:}v$, где *A* — имя *атрибута*, s_i $(1 \le i \le k)$ — суррогаты и *v* — элемент некоторого типа данных.

В онтологиях для потоков задач главную роль играют *события*, т. е. понятия, примеры которых существуют в некоторых темпоральных (временных) интервалах. Таким образом, в кортежи, представляющие эти примеры, должны входить атрибуты, отмечающие начало и конец темпорального интервала.

Между событиями *A* и *B* могут наблюдаться такие темпоральные отношения, как «*A* раньше *B*», «*A* в течение *B*», «*A* начинает *B*», «*A* заканчивает *B*», «*A* встречает *B*», «*A* перекрывает *B*» и «*A* одновременно с *B*». Эти отношения являются базовыми в интервальной логике Аллена [7]. Но для участвующих в потоке работ событий, как правило, нужно указывать также длины интервалов (или оценки этих длин). Кроме того, в спецификацию потоков работ могут входить условия на осуществление событий. Поэтому язык логики Аллена недостаточен для представления такой информации о событиях в потоках задач.

В настоящей работе мы сформулируем метрическое булево расширение **MBAL** интервальной логики Аллена **AL** и построим метод дедукции для логики **MBAL**, основанный на аналитических таблицах [8]. Мы покажем (на примере), как специфицировать онтологию для потока задач и как вычислять ответы на запросы к онтологии.

1. Пример потока работ и спецификации онтологии для этого потока работ

Пример 1. Рассмотрим простейший пример потока работ, представляющего бизнес-процесс, цель которого — перевозка товара (схема этого потока работ показана на рисунке 1), которая должна осуществляться одной из двух фирм: «ТрансВэн» или «АвтоТранс». Фирма «ТрансВэн» используется для перевозки тогда и только тогда, когда выполняется некоторое условие p, выражающее предпочтение для выбора этой фирмы. Бизнес-процесс начинается с оформления заказа (задача A). Затем сразу же оформляется накладная (задача D) и после этого осуществляется перевозка товара (задача B или C). Наконец, товар отгружается и оформляется платежка (задачи E и F). Платежка оформляется сразу же, как начинается отгрузка, и заканчивается раньше окончания отгрузки. Выполнение каждой задачи из этой схемы требует времени, т. е. с задачами ассоциированы темпоральные интервалы, которые мы обозначим теми же буквами, что и соответствующие задачи.

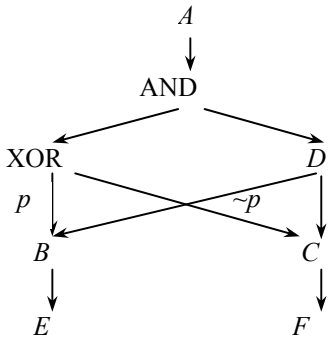


Рис. 1. Схема потока задач:
A — обработка заказа; B: перевозка товара фирмой «ТрансВэн»; C — перевозка фирмой «АвтоТранс»; D — оформление накладной; E — отгрузка товара; F — оформление платежа; p — условие, определяющее выбор фирмы «ТрансВэн» для перевозки товара; ⟶ — раньше

Предположим также, что: 1) заказ обрабатывается за 1 единицу времени; 2) накладная оформляется за 2 единицы времени; 3) перевозка товара начинается ровно через 1 единицу времени после оформления накладной; 4) перевозка товара фирмой «ТрансВэн» выполняется от 50 до 60 единиц времени; 5) перевозка товара фирмой «АвтоТранс» — от 45 до 60 единиц времени; 6) отгрузка товара совершается через 1 единицу времени после привозки товара; 7) оформление платежки длится не более 1 единицы времени; 8) если выполнено некоторое условие q, то отгрузка товара и оформление платежки начинаются одновременно, но после оформления платежки отгрузка товара длится еще не менее 35 единиц времени и не более 40 единиц времени; 9) если условие q не выполнено, то оформление платежки задерживается на 1 единицу времени и далее отгрузка выполняется еще 40 единиц времени; 10) если условие p не выполнено, то условие q также должно быть выполнено.

Структуру понятия `Фирма` можно в языке ЯСС задать, например, предложением

```
Фирма[Название:String,Адрес:String,
          Владелец:Персона,Тариф:Integer],
```

где понятие `Персона` имеет структуру, определяемую, в частности, предложением

```
Персона[ФИО:String,ГодРожд:String
          Должность:String, ИНН:Integer].
```

Структуру понятия (события) `ОбработкаЗаказа` можно задать предложением

```
ОбработкаЗаказа[Beg:Time,End:Time
                        Исполнитель:Персона].
```

Для спецификации событий используется язык **ЯТС** (язык темпоральной спецификации), которые расширяет язык **ЯСС**.

Пусть условие p состоит в том, что тариф для перевозки фирмой «ТрансВэн» меньше тарифа для перевозки фирмой «АвтоТранс». Тогда утверждение, что перевозка товара фир-

мой «ТрансВэн» выполняется после оформления заказа не более 1 единицы времени, если выполнено условие p, можно формально записать так:

```
IF   Фирма(Название=ТрансВэн).Тариф <
      Фирма(Название= АвтоТранс).Тариф
THEN ОформлениеЗаказа                                    (1)
      BEFORE(2.Beg - 1.End ≤ 1)
      ПеревозкаТовара(Фирма=ТрансВэн).
```

Здесь (1) обозначает отношение «раньше» с ограничением, что второе событие совершается не позже, чем 1 единицу времени после совершения первого события.

Если в этом предложении языка **ЯТС** отбросить атрибутную структуру и ограничение, а также использовать обозначения событий из схемы на рисунке 1, то полученное утверждение можно представить логической формулой $p \rightarrow A\boldsymbol{b}\ B$, или формулой $\sim p \vee A\ \boldsymbol{b}\ B$, где $\boldsymbol{b}$ — обозначение Аллена для отношения «раньше». Эта формула логике Аллена не принадлежит, так как в этой логике не применяется явно булевы связки. Утверждение с вышеуказанным ограничением можно представить формулой $p \rightarrow A\boldsymbol{b}(B^{-} - A^{+})\ B$, где B^{-} — начало темпорального интервала для события B, а A^{+} — конец темпорального интервала для события A.

Таким образом, используя язык **ЯТС**, мы можем составить онтологию $\boldsymbol{O}$ для потока работ, которая фиксирует отношения между понятиями и, в частности, между событиями. Абстрагируясь от атрибутной структуры событий и сохраняя только темпоральные связи между ними, мы получаем *интервальную* онтологию $\boldsymbol{Oi}$. Для спецификации интервальных онтологий будем применять язык **MBAL**. (*Конец примера 1.*)

2. Метрическое булево расширение интервальной логики Аллена

В интервальной логике Аллена **AL** имеется 7 базовых бинарных отношений между интервалами: $\boldsymbol{b}$ (before), $\boldsymbol{m}$ (meets), $\boldsymbol{o}$ (overlaps), $\boldsymbol{d}$ (during), $\boldsymbol{s}$ (starts), $\boldsymbol{f}$ (finishes), $\boldsymbol{e}$ (equals). Для про-

извольного бинарного отношения α через α* обозначим обратное отношение, т. е. $A\ \alpha^* B \Leftrightarrow B\ \alpha\ A$. Пусть $\Omega = \{\boldsymbol{b}, \boldsymbol{b}^*, \boldsymbol{m}, \boldsymbol{m}^*, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{o}^*, \boldsymbol{d}, \boldsymbol{d}^*, \boldsymbol{s}, \boldsymbol{s}^*, \boldsymbol{f}, \boldsymbol{f}^*, \boldsymbol{e}\}$.

Атомарное предложение логики **AL** — это выражение вида $A\ \alpha\ B$, где A и B — имена интервалов и $\alpha \in \Omega$. *Базовое предложение* имеет вид $A\ \beta\ B$, где $\beta \in \{\boldsymbol{b}, \boldsymbol{m}, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{d}, \boldsymbol{s}, \boldsymbol{f}, \boldsymbol{e}\}$. Произвольное *предложение* (*формула*) логики **AL** — это выражение вида $A\ \omega\ B$, где $\omega \subseteq \Omega$. Ради краткости множество ω записываем как слово. (Например, вместо $A\ \{\boldsymbol{b}, \boldsymbol{d}, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{s}\}\ B$ пишем $A\ \boldsymbol{bdos}\ B$.)

Семантика базовых предложений логики **AL** определяется через понятие интерпретации. *Интервальная интерпретация* — это назначение каждому имени интервала некоторого (невырожденного) интервала на числовой оси, представленной рядом натуральных чисел 0,1,2,…, т. е. назначение натуральных чисел A^- и A^+ таких, что $A^- < A^+$. Интервальная интерпретация продолжается на базовые предложения в соответствии с таблицей 1. (Например, предложение $A\ \boldsymbol{o}\ B$ истинно тогда и только тогда, когда имеют место неравенства $A^- < B^-$, $B^- < A^+$, $A^+ < B^+$ и $A^+ < B^+$.) Наконец, продолжаем интерпретацию на произвольные предложения, считая их дизъюнкцией атомарных предложений: $A\ \omega\ B \Leftrightarrow \vee\{A\ \alpha\ B\ |\alpha \in \omega\}$. (Например, $A\ \boldsymbol{do^*s}\ B \Leftrightarrow A\ \boldsymbol{d}\ B \vee \vee A\ \boldsymbol{o}^* B \vee A\ \boldsymbol{s}\ B \Leftrightarrow A\ \boldsymbol{d}\ B \vee B\ \boldsymbol{o}\ A \vee A\ \boldsymbol{s}\ B$.)

Таблица 1

Интерпретация базовых предложений AL

$A\ \boldsymbol{b}\ B$	|==A==| |=B=|	$A^+ < B^-$
$A\ \boldsymbol{m}\ B$	|==A==|==B==|	$A^+ = B^-$
$A\ \boldsymbol{o}\ B$	|===A===| |===B===|	$A^- < B^-$, $B^- < A^+$, $A^+ < B^+$
$A\ \boldsymbol{d}\ B$	|===A===| |=====B=====|	$A^- < B^-$, $A^+ < B$
$A\ \boldsymbol{s}\ B$	|===A===| |====B====|	$A^- = B^-$, $A^+ < B^+$
$A\ \boldsymbol{f}\ B$	|===A===| |=====B=====|	$A^- < B^-$, $A^+ = B^+$
$A\ \boldsymbol{e}\ B$	|====A====| |====B====|	$A^- = B^-$, $A^+ = B^+$

Для того чтобы представить количественные зависимости между интервалами, к атомарным предложениям логики **AL** добавляются метрические ограничения.

Как показано в таблице 1, предложения логики **AL** характеризуются неравенствами и равенствами вида $X < Y$ и $X = Y$. Неравенство $X < Y$ эквивалентно тому, что отрезок $[X, Y]$ имеет положительную длину. Естественное обобщение состоит в задании длин отрезков или оценок для этих длин. Например, если известно, что интервал A имеет длину 5, A и B начинаются одновременно, A заканчивается за 2—4 единицы времени до окончания B, то эту информацию можно представить формулами $|A| = 5$ и $A\ \boldsymbol{s}(2 \le B^+ - A^+ \le 4)\ B$.

Язык **MBAL** метрического расширения интервальной логики Аллена имеет следующий синтаксис:

— *атомарные ограничения* — это равенства или неравенства видов $X = Y$, $X - Y = r$, $X - Y \le r$, $X - Y < r$, $X - Y \ge r$, $X - Y > r$, где X, Y — концы интервалов, $X \ne Y$ и r — натуральное число. Эти ограничения являются предложениями логики **MBAL**;

— *составное ограничение* — это конъюнкция атомарных ограничений, причем точка с запятой используется как знак для конъюнкции. Составные ограничения являются предложениями логики **MBAL**;

— *связка Аллена с ограничениями* — это выражение вида $\alpha(\lambda)$, где $\alpha \in \Omega$ и λ — ограничение;

— выражения вида $|A| = r$, $|A| \le r$, $|A| < r$, $|A| \ge r$, $|A| > r$ — это предложения логики **MBAL**;

— выражение $A\ \beta_1\beta\ldots\beta_k\ B$ есть предложение логики **MBAL**, где $\beta_i \in \Omega$ или $\beta_i = \alpha_i(\lambda_i)$ — связка Аллена с ограничениями для концов интервалов A и B;

— пропозициональные переменные являются формулами логики **MBAL**;

— выражения вида $\sim\varphi$, $\varphi \wedge \psi$, $\varphi \vee \psi$ и $\varphi \to \psi$ — формулы **MBAL**, если φ и ψ — формулы **MBAL**.

В атомарные ограничения можно также включать двойные неравенства, например неравенство $r \le X - Y \le s$, рассматривая его как сокращение для составного ограничения $X - Y \ge r$; $X - Y \le s$.

Семантика языка **MBAL** определяется естественным образом.

Приведем два примера интервальных онтологий, записанных в языке в **MBAL**.

Примеры 2.

$$\boldsymbol{O}_1 = \{|A| = 4,\ |B| = 8,\ |C| \geq 5,\ p \rightarrow A\ \boldsymbol{d}(2 \leq B^+ - A^+ \leq 3)\ B,\ q \rightarrow C\ \boldsymbol{f}\ B\}.$$

$$\boldsymbol{O}_2 = \{|A| = 1,\ A\ \boldsymbol{m}\ D,\ |D| = 2,\ p \rightarrow D\ \boldsymbol{b}(B^- - D^+ = 1)\ B,\ \sim p \rightarrow q,$$

$$\sim p \rightarrow D\ \boldsymbol{b}(C^- - D^+ = 1)\ C,\ \sim q \rightarrow F\ \boldsymbol{d}(F^- - E^- = 1;\ E^+ - F^+ = 40)\ E,$$

$$q \rightarrow F\ \boldsymbol{s}(35 \leq E^+ - F^+ \leq 40)\ E,\ B\ \boldsymbol{b}(E^- - B^+ = 1)\ E,\ 45 \leq |C| \leq 60\}.$$

Вторая онтология представляет знание о потоке работ, рассмотренном в примере 1. (*Конец примеров 2.*)

Как и во всякой логике, в **MPAL** имеется понятие логического следствия. Пусть $\boldsymbol{O}$ — интервальная онтология и α — произвольная формула в языке **MPAL**. Мы говорим, что α *логически следует* из $\boldsymbol{O}$ и пишем $\boldsymbol{O} \models \alpha$, если не существует интерпретация, при которой все формулы из $\boldsymbol{O}$ истинны, а формула α ложна.

3. Дедукция в логике MPAL

Мы определим основанную на аналитических таблицах систему дедукции для логики **MPAL**. В таблицах 2—4 даны правила вывода для этой системы дедукции. Правила из таблицы 4 для связок Аллена получены на основе семантики базовых отношений между интервалами. Возьмем, например, правило, стоящее в таблице 4 в пятой строке и первом столбце. Это правило соответствует тому, что из $A\ \boldsymbol{s}\ B$ следует

$$(A^- = B^-) \wedge (A^+ < B^+),$$

т. е.

$$(A^- - B^- \geq 0) \wedge (B^- - A^- \geq 0) \wedge (B^+ - A^- \geq 1)$$

(так как в области натуральных чисел $B^+ - A^- > 0$ эквивалентно $B^+ - A^- \geq 1$).

Таблица 2

Правила вывода для булевых связок

$+ \sim \varphi$	$- \sim \varphi$	$+ \varphi \wedge \psi$	$- \varphi \wedge \psi$
$- \varphi$	$+ \varphi$	$+ \varphi$ $+ \psi$	$- \varphi \mid - \psi$
$+ \varphi \vee \psi$	$- \varphi \vee \psi$	$+ \varphi \rightarrow \psi$	$- \varphi \rightarrow \psi$
$+ \varphi \mid + \psi$	$- \varphi$ $- \psi$	$- \varphi \mid + \psi$	$+ \varphi$ $- \psi$

Таблица 3

Правила вывода для ограничений

$+ \lvert A \rvert = r$	$- \lvert A \rvert = r$	$+X - Y = r$	$- X - Y = r$
$A^+ - A^- \geq r$ $A^- - A^+ \geq -r$	$A^- - A^+ \geq 1 - r \mid$ $A^+ - A^- \geq r + 1$	$X - Y \geq r$ $Y - X \geq -r$	$X - Y \geq r$ $Y - X \geq - r$
$+ \lvert A \rvert \geq r$	$+ \lvert A \rvert > r$	$+ \lvert A \rvert \leq r$	$+ \lvert A \rvert < r$
$A^+ - A^- \geq r$	$A^+ - A^- \geq r + 1$	$A^- - A^+ \geq -r$	$A^- - A^+ \geq 1 - r$
$- \lvert A \rvert \geq r$	$- \lvert A \rvert > r$	$- \lvert A \rvert \leq r$	$- \lvert A \rvert < r$
$A^- - A^+ \geq r+1$	$A^- - A^+ \geq - r$	$A^+ - A^- \geq r+1$	$A^- - A^+ \geq r$
$+ X - Y \geq r$	$+ X - Y > r$	$+ X - Y \leq r$	$+ X - Y < r$
$X - Y \geq r$	$X - Y > r$	$X - Y \geq - r$	$Y - X > - r$
$- X - Y \geq r$	$- X - Y > r$	$- X - Y \leq r$	$- X - Y < r$
$Y - X \geq 1 - r$	$Y - X \geq - r$	$Y - X \geq r + 1$	$X - Y \geq r$
$+X - Y = r$	$- X - Y = r$	$+ \theta \; ; \lambda$	$- \theta \; ; \lambda$
$X - Y \geq r$ $Y - X \geq - r$	$X - Y \geq 1 + r \mid$ $Y - X \geq 1 - r$	$+ \theta$ $+ \lambda$	$- \theta \mid - \lambda$

Обозначения: λ — ограничение, $\alpha \in \Omega$, $\beta \in \Omega$ или $\beta = \alpha(\lambda)$; θ — слово из таких β.

Таблица 4

Правила вывода для связок Аллена

$+ A \; \boldsymbol{b} \; B$	$- A \; \boldsymbol{b} \; B$
$B^- - A^+ \geq 1$	$A^+ - B^- \geq 0$
$+ A \; \boldsymbol{m} \; B$	$- A \; \boldsymbol{m} \; B$
$A^+ - B^- \geq 0$ $B^- - A^+ \geq 0$	$B^- - A^+ \geq 1 \mid A^- - B^+ \geq 1$
$+ A \; \boldsymbol{o} \; B$	$- A \; \boldsymbol{o} \; B$
$B^- - A^+ \geq 1$ $A^+ - B^- \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$A^- - B^- \geq 0 \mid B^- - A^+ \geq 0 \mid A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \; \boldsymbol{f} \; B$	$- A \; \boldsymbol{f} \; B$
$A^- - B^- \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 0$ $A^+ - B^+ \geq 0$	$B^- - A^- \geq 0 \mid B^+ - A^+ \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 1$
$+ A \; \boldsymbol{s} \; B$	$- A \; \boldsymbol{s} \; B$
$B^- - A^- \geq 0$ $A^- - B^- \geq 0$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$B^- - A^- \geq 1 \mid A^- - B^- \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \; \boldsymbol{d} \; B$	$- A \; \boldsymbol{d} \; B$
$A^- - B^- \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$B^- - A^- \geq 0 \mid A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \; \boldsymbol{e} \; B$	$- A \; \boldsymbol{e} \; B$
$B^- - A^- \geq 0$ $A^- - B^- \geq 0$ $B^+ - A^+ \geq 0$ $A^+ - B^+ \geq 0$	$B^- - A^- \geq 1 \mid A^- - B^- \geq 1 \mid B^+ - A^+ \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 1$
$+ A \; \alpha(\lambda) \; B$	$- A \; \alpha(\lambda) \; B$
$+ A \; \alpha \; B$ $+ \lambda$	$- A \; \alpha \; B \mid - \lambda$
$+ A \; \beta\theta \; B$	$- A \; \beta\theta \; B$
$+ A \; \beta \; B \mid + A \; \theta \; B$	$- A \; \beta \; B$ $- A \; \theta \; B$

Обозначения: λ — ограничение, $\alpha \in \Omega$, $\beta \in \Omega$ или $\beta = \alpha(\lambda)$; θ — последовательность (слово) из таких β.

Правило, стоящее в третьей строке и во втором столбце в таблице 4, соответствует тому, что из $\sim A \; \boldsymbol{o} \; B$ следует

$$\sim [(A^{-} = B^{-}) \wedge (A^{+} < B^{+})]$$

и, значит,

$$(B^{-} - A^{-} \geq 0) \vee (B^{+} - A^{+} \geq 1) \vee (A^{+} - B^{+} \geq 1).$$

В результате применения этого правила к формуле $- A \; \boldsymbol{o} \; B$ приписываются три формулы

$$- B^{-} - A^{-} \geq 0, - B^{+} - A^{+} \geq 1 \text{ и } - A^{+} - B^{+} \geq 1$$

в форме «вилки» (с тремя зубцами) ко всякой ветви дерева, проходящей через формулу — $A \; \boldsymbol{o} \; B$.

Пусть $\boldsymbol{O}$ — интервальная онтология и φ — формула в языке **MPAL**. Доказывая логическое следствие $\boldsymbol{O} \mid = \varphi$, мы строим дерево вывода, начиная с ветви, состоящей из означенных формул $+\psi_1, +\psi_2, \ldots, +\psi_m, -\varphi$, где $\boldsymbol{O} = \{\psi_1, \psi_2, \ldots, \psi\}$. Следствие $\boldsymbol{O} \mid = \varphi$ имеет место тогда и только тогда, когда все ветви дерева будет замкнутыми (т. е. ложными в любой интерпретации).

Последовательность применения правил вывода при построении дерева вывода определяется эвристиками, благодаря которым сокращается размер дерева. Стандартная эвристика состоит в следующем. Каждому правилу вывода присваивается *индекс ветвления*, который равен числу формул в заключении правила. (Например, в таблице 4 правило, стоящее в первой строке и первом столбце, имеет индекс 1, а правило, стоящее в третьей строке и втором столбце, — индекс 3.) На текущем шаге построения дерева следует выбирать формулу, к которой применимо правило вывода с наименьшим индексом ветвления.

4. Вычисление ответов на запросы к онтологиям

Дедукцию можно использовать для вычисления ответов на запросы к онтологиям, записанным в языке **MPAL**. Рассмотрим это на примере.

Пример 3. Возьмем *онтологию* $\boldsymbol{O_2}$ из примеров 2 и рассмотрим запрос: «Найти наибольшее значение x и наименьшее значение y, что $\boldsymbol{O_2} \mid = p \wedge q \rightarrow A \; \boldsymbol{o} (x \leq A^{+} - C^{-} \leq y) \; C$». На рисун-

ке 2 показано дерево вывода, построенное для данного запроса. Это дерево имеет семь ветвей. Первая ветвь *пропозиционально замкнута*, т. е. содержит контрарную пару $+p$ и $-p$, и поэтому эта ветвь ложна в любой интерпретации. Также пропозиционально замкнутой является вторая ветвь.

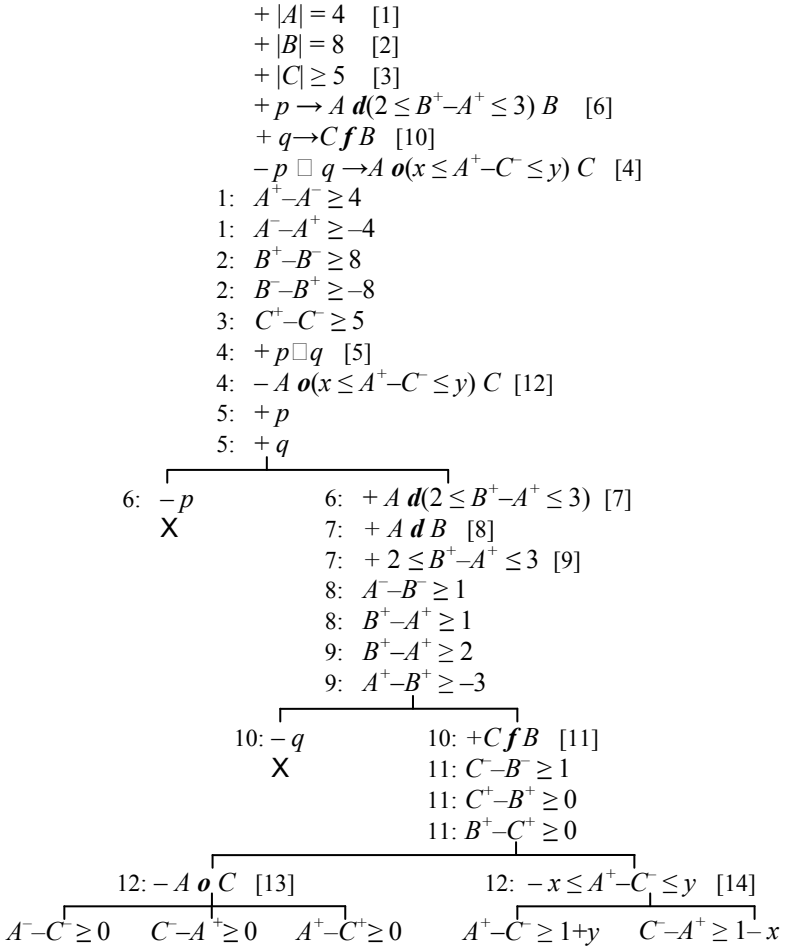


Рис. 2. Дерево вывода

Чтобы доказать замкнутость остальных ветвей, выпишем из каждой ветви неозначенные неравенства, присоединим к каждому списку стандартные неравенства

$$A^+ - A^- \geq 1,\ B^+ - B^- \geq 1,\ C^+ - C^- \geq 1$$

и уберем поглощенные неравенства. Тогда получим множества неравенств:

$$S_1 = S_0 \cup \{A^- - C^- \geq 0\},$$

$$S_2 = S_0 \cup \{C^- - A^+ \geq 0\},$$

$$S_3 = S_0 \cup \{A^+ - C^+ \geq 0\},$$

$$S_4 = S_0 \cup \{A^+ - C^- \geq 1 + y\},$$

$$S_5 = S_0 \cup \{A^- - C^- \geq \geq 1 - x\},$$

где

$$S_0 = \{A^- - B^- \geq 1,\ B^+ - A^+ \geq 1,\ A^+ - B^+ \geq -3,\ C^- - B^- \geq 1,\ C^+ - B^+ \geq 0,$$
$$B^+ - C^+ \geq 0,\ A^+ - A^- \geq 1,\ B^+ - B^- \geq 1,\ C^+ - C^- \geq 1\}.$$

В S_1 входят неравенства

$$A^- - C^- \geq 0,\ B^- - A^- \geq 1,\ C^- - B^- \geq 1,$$

складывая которые получаем противоречие $0 \geq 2$. Таким образом, первая ветвь дерева замкнута. Аналогично доказывается замкнутость второй и третьей ветвей дерева.

В S_4 входят неравенства

$$A^+ - C^- \geq 1 + y,\ B^+ - A^+ \geq 2,\ B^- - B^+ \geq -8,$$

складывая которые получаем неравенство $0 \geq y - 5$. Ясно, что наименьшим значением y, при котором это неравенство противоречиво, служит 6. Таким образом, 6 является наименьшим значением y, при котором четвертая ветвь дерева замкнута. Аналогично получаем, что 3 является наибольшим значением x, при котором пятая ветвь дерева вывода замкнута. Следовательно, ответом на запрос будет $x = 3$ и $y = 5$. (*Конец примера* 3.)

Возьмем онтологию $\boldsymbol{O_3}$ из примеров 2 и запрос: «Найти для времени бизнес-процесса наилучшие верхнюю и нижнюю оценки (т. е. оценки времени от начала обработки заказа до окончания отгрузки товара), если выполнено условие q». Для нахождения ответа на этот запрос мы должны найти наибольшее значение x и наименьшее значение y такие, что

$$\boldsymbol{O_3} \mid = q \rightarrow (x \leq E^{+} - A^{-} \leq y)\}.$$

Можно построить дерево вывода и из него получить ответ $x = 86$ и $y = 106$ на этот запрос.

Заключение

Рассматривалась задача спецификации темпоральных отношений в онтологиях для потоков работ. Для ее решения мы разработали логику **MBAL**, являющуюся метрическим булевым расширением известной интервальной логики Аллена. Для логики **MBAL** построена система дедукции, основанная на методе аналитических таблиц. Показано, как вычислять запросы к онтологиям, применяя эту дедукцию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №14-07-0387) и Министерства образования и науки Казахстана (проект 0115 RK 00532).

Список литературы

1. *Van der Aalst W. H. P.*, *Van Hee K. M.* Workflow Management: Models, Methods and Systems. Cambridge MA : MIT Press, 2002.

2. *Alonso G. F.*, *Casati F.*, *Kuno H. et al*. Web Services: Concepts, Architectures and Applications. Heidelberg : Springer-Verlag, 2003.

3. *Process-Aware* Information Systems / M. Dumas, W. H. P. Van der Aalst, A. H. M. Ter Hofstede (Eds.). N. Y. : Wiley & Sons, 2005.

4. *Handbook* on Ontologies / S. Staab, R. Studer (Eds.). Heidelberg : Springer-Verlag, 2009.

5. *Плесневич Г. С.* Формальные онтологии // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. (OSTIS-2012, Минск, БГУИР, 16—18 февраля 2012). Минск : Изд-во БГУИР, 2012. С. 163—168.

6. *Plesniewicz G.S.*, *Karabekov B.S.* Ontologies in the Binary Model of Knowledge // Программные продукты и системы. 2014. №1 (105). С. 76—81.

7. *Allen J.A.* Maintaining Knowledge about Temporal Intervals // Communications of the ACM. 1983. Vol. 26, №11. P. 832—843.

8. *Handbook* of Tableaux Methods / M.D'Aggostino, D.Gabbay, R. Hahnle, J. Possega (Eds.). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1999.

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

ОТ СПЕЦИФИКАЦИИ КОГНИТОНОВ И ИНЖЕНЕРИИ ИНТЕНЦИЙ К ОБОБЩЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГЕНТОВ

Введение

В заключительной части своей книги «Фантазия или наука» [1], опубликованной в 1982 г., Д. А. Поспелов выдвинул обширную программу исследований в области искусственного интеллекта (ИИ). Эти исследования должны быть нацелены на «*изучение* ***психики человека*** с целью ее *имитации* в технических системах, решающих определенный набор практических задач, традиционно считающихся интеллектуальными». Следует напомнить, что в психологии термин «психика» охватывает как *сознание*, так и сферу *бессознательного*.

Еще раньше, в 1967 г., Д. А. Поспелов по аналогии с бионикой ввел термин ***психоника***, означающий науку, предмет которой — исследование психической деятельности человека и животных с целью использования результатов этих исследований при проектировании технических устройств [2]. В качестве трех главных направлений исследования в психонике указывались: 1) построение в машине модели внешней среды; 2) моделирование поведения животных и деятельности чело-

© Тарасов В. Б., 2016

века, включая мотивационные и эмоциональные факторы; 3) создание искусственной личности. По сути, уже на отечественных семинарах по психонике конца 1960-х гг., проходивших в МЭИ, докладывались и обсуждались первые попытки моделирования психики в русле изучения и имитации известной психологической триады «интеллект — чувства — воля». Эти идеи и результаты намного опередили свое время.

Хотя слово *психоника* не прижилось в среде специалистов по кибернетике, информатике и ИИ, биологически и психологически инспирированные подходы, модели и архитектуры стали «визитной карточкой» исследований в области создания передовых интеллектуальных технологий, в особенности, агентно-ориентированных технологий.

Разработка спецификаций и построение архитектур автономных агентов сильно зависят от интерпретации агентов. К настоящему времени известны, по меньшей мере, четыре интерпретации искусственных агентов: искусственный организм, активный объект, помощник пользователя, *виртуальный деятель*. В то время как модели и архитектуры агентов, соответствующие первым трем интерпретациям, достаточно хорошо разработаны и нашли практическую реализацию, теоретические и практические вопросы *инженерии деятельности* (или *инженерии действий* — эти термины берутся по аналогии с инженерией знаний) все еще остаются малоизученными.

В нашей работе проанализированы существующие когнитивные архитектуры интеллектуальных систем и автономных агентов и констатировано отсутствие теоретически обоснованных обобщенных архитектур их деятельности. В этой связи изложены элементы *общей теории деятельности* агентов, раскрыты принципы и механизмы *самоорганизации* деятельности. Предварительно систематизированы и описаны базовые *интенциональные* характеристики агентов как пусковые механизмы их деятельности. Рассмотрены разнородные когнитивные единицы сознания и деятельности — *когнитоны*, позволяющие связать между собой подходы когнитивного моделирования с основами самоорганизации деятельности.

Главным результатом работы является развитие и формализация обобщенной архитектуры деятельности СинАрД, исходные идеи, связи и структуры которой были предложены в нашей монографии [3].

1. Искусственное сознание и когнитивные архитектуры

Как известно, с самого начала работ по ИИ в нем возникли две программы исследований — прагматическая и имитационная. Сторонники первой исходили из того, что при разработке искусственных интеллектуальных систем необязательно опираться на известные принципы и механизмы работы естественного интеллекта (ЕИ), т. е. эти области можно рассматривать как совершенно разные и не связанные между собой: ЕИ ≠ ИИ. Напротив, адепты второй программы настаивали на необходимости использования в исследованиях по ИИ всей доступной информации о человеческом мозге с целью имитации его структуры и функционирования, что можно схематически изобразить как ЕИ ⇒ ИИ.

На начальных этапах развития интеллектуальных систем основные результаты были достигнуты в рамках первой программы, но в XXI в. акцент исследований смещается в сторону второй, имитационной, программы.

Аналогично обстоят дела с проблемой *искусственного сознания* (Artificial Consciousness) [4]. Сегодня на первом этапе развития этого направления его исследователи абстрагируются от воззрений тех психологов, которые заявляют о недизъюнктивности психики, сознания и мышления [5], невозможности их построения из отдельных частей (как обычно строят технические системы). Соответственно, *искусственное* (*машинное*) *сознание* пока развивается как научная область, связанная с проблемами памяти, обучения, опыта, понимания, а также с моделированием поведения, управляемого сознанием [6] и разработкой биологически (психологически) инспирированных когнитивных архитектур (BICA) [7].

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288, 2008, *архитектурой системы* называется принципиальная организация системы, воплощенная в ее элементах, их взаимоотношениях друг с другом и со средой, а также принципы, направляющие ее проектирование и эволюцию. В свою очередь, программная архитектура — это организационная структура, в которой идентифицированы компоненты, их интерфейсы и концепция взаимодействия между ними.

Архитектура автономного агента тесно связана с методологией его построения. По организации взаимодействия структурных уровней различают горизонтальные и вертикальные архитектуры. В целом архитектуры программных агентов можно разделить на два больших класса [3]: 1) архитектуры, основанные на знаниях; 2) архитектуры, характеризующие реактивное поведение. Известны также гибридные архитектуры, сочетающие системы рассуждений на знаниях, с чисто поведенческими, реактивными механизмами, например InterRaP и Turing Machine.

Наряду с «чисто агентскими» архитектурами следует обратить внимание и на когнитивные архитектуры, первоначально не связанные с искусственными агентами, но легко расширяемые в этом русле.

Когнитивная архитектура есть вычислительная модель, в которой представлены как функциональные компоненты интеллектуальной системы (причем не только знания), так и взаимодействия между ними. В частности, она определяет базовую инфраструктуру интеллектуального агента, отображая такие его свойства, которые постоянны во времени и в различных областях применения. Наиболее известными примерами когнитивных архитектур служат EPIC, Soar (рис.1), Prodigy, ACT-R, ASMO, 4CAPS, Cougaar, ICARUS, Apex, FORR, Spaun, QuBIC, VisNet, и др.

Как правило, когнитивная архитектура включает кратковременную и долговременную память (рис. 1), где хранится информация о мнениях, знаниях и целях агента, а также модули обучения [8]. Одна их главных целей разработки когнитив-

ных архитектур заключается в обобщении результатов когнитивных наук и их реализации к компьютерной модели. Архитектурное проектирование интеллектуальных агентов и МАС [9] предполагает итеративную разработку прототипа открытой когнитивной архитектуры с его последующими модификациями и расширениями. Например, в версии Soar 9 дополнительно присутствуют модули образных представлений и формирования эмоций. По сути, на базе референсного решения создается целое семейство все более общих и многоаспектных архитектур.

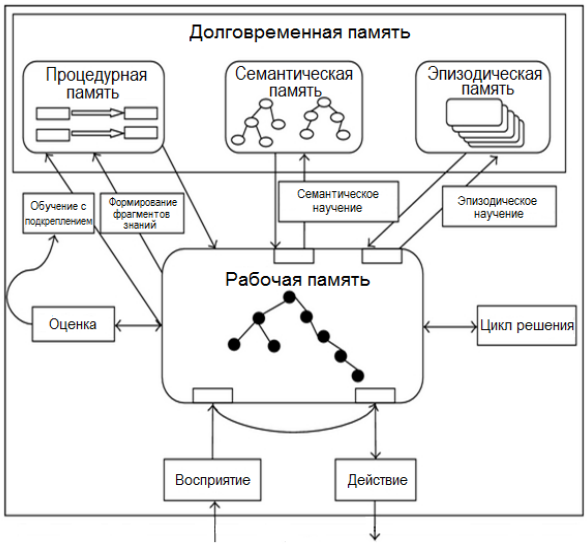


Рис. 1. Архитектура Soar

Обсуждение в апреле 2016 г. нашей лекции [11] на международной школе FIERCES on BICA показало, что в отличие от когнитивных архитектур до сих пор не существует общепринятой архитектуры самоорганизации деятельности агента, а также архитектур, реализующих принцип «единства сознания

и деятельности». В настоящей работе сделана попытка продвинуться в этом направлении путем соединения идей инженерии когнитонов, интенциональной самоорганизации и билптерального регулировании в архитектуре деятельности.

2. Инженерия когнитонов

В философии и ИИ сторонники *менталиэма* считают, что любые попытки объяснить психическую деятельность, психические свойства, состояния и процессы на основе только физических, физиологических и нейрофизиологических подходов являются некорректным и недопустимым упрощением существа дел. В соответствии с познавательными установками ментализма, для моделирования и понимания действий и поступков агентов требуется обращение к ментальным (т. е. описывающим ненаблюдаемый внутренний мир) категориям.

Один из современных вариантов ментализма — *когнитивизм*, развивающий познавательные трактовки интеллекта. Истоки когнитивных течений восходят к пониманию роли знаний как одного из ведущих факторов, определяющих эффективность действий агента.

При создании когнитивных агентов и проектировании их взаимодействий центральное место занимает *теория когнитонов* (см. [3; 12]). В ней выделяются и исследуются когнитивно-регулятивные, когнитивно-коммуникативные, когнитивно-ресурсные аспекты деятельности агентов.

Когнитон — это общий термин для синтеза деятельности агентов с позиций ее внутренних описаний. Когнитонами называются разнородные когнитивные единицы, характеризующие разные стороны сознания — познание, деятельность, общение. Он был введен с целью единого представления семейств ментальных единиц, которые лежат в основе формирования динамических структур агентов, например, BDI-структуры или WILL-архитектуры. Классификация когнитонов дана на рисунке 2.

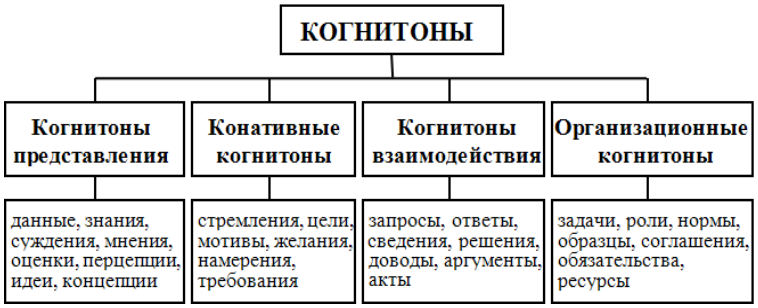


Рис. 2. Классификация когнитонов

Соответственно, возникает проблема *инженерии когнитонов* как ядра разработки когнитивных агентов, проектирования их деятельности, а также организации их взаимодействия и обеспечения взаимопонимания (подобно тому, как инженерия знаний определяет разработку классических интеллектуальных систем). Инженерия когнитонов расширяет обычные подходы инженерии знаний, видоизменяя и адаптируя их к проблемам формализации интенциональных и организационных свойств агентов (намерений, требований, обязательств, и т. д.).

Одной из важнейших характеристик когнитивных агентов является грануляция когнитонов, установление между ними отображений «один-ко-многим» (например, «когнитивный интервал — уровень регуляции»), что определяет возможность их анализа на различных уровнях абстракции-детализации [13; 14]. При этом гранулярные структуры образуются как из однородных когнитонов, так и с использованием разнородных когнитонов. Примером гранулярной структуры, состоящей из когнитонов представления, служит структура «данные — информация — знания» (переход от данных к знаниям есть преобразование мелкозернистых гранул в крупнозернистые гранулы), а классической гранулярной конативной структурой выступает вектор «мотив-цель». В свою очередь, известными

вариантами гранулярных структур из неоднородных когнитонов являются BDI-модель [15; 16] (структура «мнение — желание — намерение») и структура «цель — ресурсы — восприятие — действие» ЦРВД [17]. Еще одним примером служит горизонтальная итеративная структура «потребность — мотив — план — знания» (см. ниже общую архитектуру деятельности агента).

Ниже подробнее опишем конативную (интенциональную) основу агентов. Термин *конативный* (от лат. *conatus* — попытка, усилие, стремление) относится к мотивационным и волевым процессам регуляции деятельности агентов, обеспечивая связь знаний и эмоций с поведением. Слово *интенции* (интенциональные свойства агента) объединяет все виды побуждений агента к деятельности (действиям). Далее мы будем использовать эти два слова как синонимы, не проводя имеющихся легких различий между ними.

3. Интенции как причины деятельности агентов

Еще Ф. Брентано и Э. Гуссерль подчеркивали, что *интенциональность* есть фундаментальное отличие между физическими и психическими системами. Все психические явления (и только они) имеют интенциональную основу. У Д. Деннета одним из главных атрибутов сознания выступает интенциональная установка. Принятие интенциональной установки заключается в рассмотрении агента, действующего в соответствии с интенциональным образцом. По мнению Д. Деннета, созданные человеком артефакты также могут быть носителями интенциональности [18].

Соответственно все агенты отличаются от обычных объектов наличием побуждений. *Побуждение* — это любой внутренний источник деятельности агента, например внутренний стимул, «запускающий» деятельность. Побуждения индивидуальных агентов связаны с некоторой формой удовлетворения базовых потребностей, которые выступают как стремление к

определенному состоянию (гедонистический принцип). С*тремление* — это первичное побуждение, эмоциональное переживание потребности, относящейся к некоторому объекту. Бессознательное стремление выражается в форме *влечения*, а осознанная потребность выступает в форме *желания*, когда фиксируются не только объекты, но и пути достижения потребности.

У простейших реактивных агентов интенциональная основа сводится к наличию предпочтительных состояний, к которым они стремятся (например, трофические основы интенций). Здесь несомненный интерес представляет описание поведения на базе экстремальных принципов. В свою очередь, интеллектуальные агенты способны формировать не только желания, но и намерения, для чего служат механизмы памяти, обработки информации и принятия решений.

Намерение означает *волю действовать*. Оно предполагает стремление агента совершить действие в соответствии с целью и намеченным планом, когда во внимание принимаются наличные ресурсы, а также внешние требования и ограничения. Так, П. Коэн и Г. Левек назвали свою основополагающую статью «Намерение есть выбор + обязательство» [19]. Агент, в силу ограниченности имеющихся у него ресурсов, должен выбирать какое-либо желание, связанное с достижением цели, что означает принятие обязательства в той или иной форме. Намерение уже подразумевает выработку частичного плана действий, которому следует агент [16].

Наличие у любого агента хотя бы в зачаточном виде *встроенных источников мотивации*, *механизмов* образования *предпочтений* или формирования *целей* обеспечивает ему принципиально новый уровень автономии по сравнению с объектом. В отличие от объекта программный агент может принять на себя определенные обязательства или, наоборот, отказаться от предлагаемого задания, мотивируя это отсутствием компетентности, занятостью другой задачей и т. п. В то же время программный агент способен выполнять такие дей-

ствия, как порождение, подавление и замена других программных агентов, активизация функций (как своих, так и других агентов), активизация сценариев деятельности, запоминание текущего состояния других агентов и пр.

Итак, отличительная особенность синтеза когнитивных агентов — это необходимость построения и реализации специальной подсистемы представления ментальных состояний, включающей хотя бы некоторое подмножество из множества *интенциональных характеристик.*

Известны различные классификации интенций. Так, по временному критерию различают интенции настоящего времени и интенции, устремленные в будущее. Последние связаны с планированием действий по достижению желаемого будущего состояния в некотором мире и могут порождать производные интенции. Наоборот, интенция настоящего времени обеспечивает выполнение конкретного текущего действия.

Согласно Г. Киссу, среди интенциональных характеристик выделяются: а) *когнитивные* (мнения, знания, свидетельства), *конативные* (намерения, обязательства, планы) и *аффективные* (цели, желания, предпочтения). Здесь когнитивные отношения связаны с эпистемическими структурами, конативные — с управлением и действием, а аффективные — с динамикой поведения агента [20]. И. Шоэм и Р. Казинс [21] подразделяют интенции на *информационные* (мнения, знания), *мотивационные* (цели, желания, намерения, планы), *социальные* (обязательства, разрешения).

По Р. Братману [16], *знания* и *мнения* агента в многоагентной системе понимаются как социальные установки, которые ориентированы на ценности и предписывают определенные варианты поведения. В то же время *желания*, *намерения* и пр. представляют собой факторы мотивации, направляющие поведение агента. В отличие от мнений, которые могут быть частично истинными или ложными, желания или намерения обычно рассматриваются в контексте их удовлетворения.

Пример BDI-архитектуры агента представлен на рисунке 3.

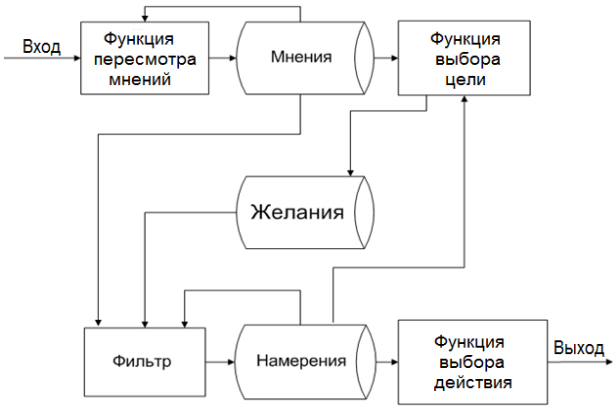


Рис. 3. Пример BDI-архитектуры когнитивного агента

4. Особенности самоорганизации и моделирования деятельности и действий агентов

До последнего времени (а именно до широкого распространения искусственных агентов и многоагентных систем в информатике и ИИ) современный деятельностный подход был вне поля зрения специалистов по искусственному интеллекту. В американском научном сообществе это отчасти объяснялось долгой популярностью воззрений бихевиоризма и необихевиоризма. В то же время одним из главных достижений отечественной психологии стало создание в последней четверти XX в. *общей теории деятельности* (см.[22; 23]), в которой понятия сознания и психики в целом используются как «средства объяснения».

У истоков этой теории стояли Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев [24] и С. Л. Рубинштейн [25]; свое дальнейшее развитие она получила в работах Б. Г. Ананьева [26], Б. Ф. Ломова [27], А. М. Волкова [28], Г. В. Суходольского [29], Г. П. Щедровицкого [22] и др.

Под деятельностью искусственного агента будем понимать асимметричное взаимодействие (отношение) между агентом и объектами среды, которое возникает и развивается благодаря наличию у агента *интенциональных свойств*. Деятельность есть сложная, открытая, неаддитивная *единица* «жизни» [24] агента, что служит обоснованием применения *синергетической методологии* ее синтеза.

Как отмечает Г. П. Щедровицкий [22], отличительная особенность деятельности как системы заключается в ее неоднородности и полиструктурности. В русле современного синергетического подхода следует также указать на неравновесность, необратимость и нелинейность процессов в системе деятельности, причем центральное место здесь занимают проблемы моделирования процессов ее *возникновения* и *развития*.

Синтез деятельности агентов необходимо начинать с определения и исследования основных функций, компонентов и структур деятельности (см. [24; 27]). Следуя Г. В. Суходольскому [29], будем рассматривать онтологические, морфологические, гносеологические аксиологические, праксеологические структуры деятельности.

Онтология деятельности фиксирует ее существование в виде асимметричного отношения «агент — объект» или «агент — агент — объект». Здесь классическими формализмами являются тройка **SAO** (модель «субъект — действие — объект», лежащая в основе универсального семантического кода В. В. Мартынова) или пятерка **saorc** (*спецификация создаваемого продукта в поисковом проектировании:* агент **s** действует **a** на объект **o** для получения нужного результата **r** при ограничениях **c**.

В отличие от деятельности в поведении реализуются связи «агент — агент» или «агент — объект — агент». Единицей деятельности выступает *действие*, а единицей поведения — *поступок* (табл.).

О различиях между деятельностью и поведением

Система	Деятельность	Поведение
Единица	Действие	Поступок

Морфология деятельности агентов характеризует ее состав и структуру. Так, деятельность состоит из набора действий, которые разбиваются на отдельные операции (рис.4).

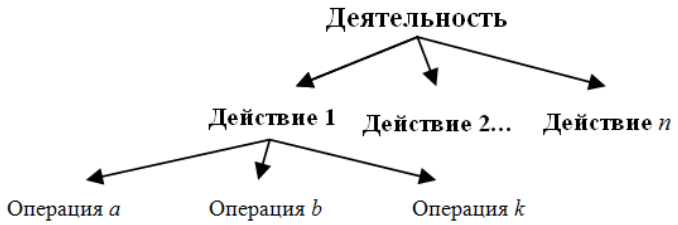


Рис. 4. Трехуровневая иерархическая структура деятельности

Действие — это единица деятельности, соотнесенная с некоторой целью. Согласно П. Жане, следует различать «первичное действие», или отношение между субъектом и объектом, и «вторичное действие», т. е. реакцию субъекта на свое собственное действие. В свою очередь, под операцией понимается элемент деятельности, который отвечает определенным условиям выполнения действия.

Аксиология деятельности агента объединяет ее потребности, результаты, ценности, оценки.

Наличие *потребности* — основа самоорганизации любой деятельности. Потребность как состояние нужды $\boldsymbol{N}$ в чем-либо есть функция рассогласования между наличной $\boldsymbol{U_0}$ и желаемой ситуацией $\boldsymbol{U_t}$: $\boldsymbol{N = f\,(U_0, U_t)}$.

Деятельность любого агента разворачивается как совокупность действий, направленных на удовлетворение некоторых потребностей. Обычно она предполагает внутреннее представление объекта (его интериоризацию), вынесение суждений и проведение рассуждений в интересах формирования действий, направленных на получение объективных результатов. Таким образом, деятельность выступает как процесс, связывающий агента и объект, в рамках которого осуществляются взаимные переходы между этими полюсами (переходы из внутреннего плана деятельности во внешний и наоборот).

Внешний план деятельности охватывает *потребности* вместе с *предметами* и *условиями* их удовлетворения, а внутренний план соответствует *интенциональной* (мотивационно-целевой) сфере (рис. 5).

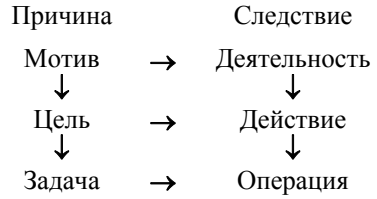


Рис. 5. Причинно-следственные взаимосвязи в структуре деятельности

Причиной деятельности выступает мотив как осознанная потребность, связанная с некоторым предметом. Мотив — это любое внутреннее представление некоторой объективной потребности. Всякая деятельность как процесс реализации мотива состоит из совокупности действий, направленных на достижение цели, которые распадаются на отдельные операции.

Внешняя наблюдаемая часть деятельности соответствует поведению. Структура организации поведения соответствует формированию планов, стратегий (тактик) и реакций.

Праксиология деятельности изучает функционирование, освоение и развитие деятельности в пространстве и во времени. С ней связана структура *опыта*, включающая знания, навыки и умения (как продукт координации знаний и навыков).

Наконец, *гносеология деятельности* подразумевает формирование когнитивной структуры, характеризующей познавательную активность агента, построение внутренней модели внешней среды, других агентов и самого себя.

5. Архитектура деятельности интенционального агента

В контексте развития теории агентов как искусственных деятелей центральной задачей становится разработка общей архитектуры деятельности интенциональных агентов. Здесь

обычная, принятая в информатике модель деятельности типа «черного ящика» (рис. 6) оказывается недостаточной. В интересах построения и обоснования архитектур агентов как деятелей необходимо провести анализ базовых принципов и механизмов самоорганизации деятельности.

Рис. 6. Представление деятельности как «черного ящика»

Деятельность агента есть сложная, отрытая, неоднородная, многофункциональная, полиструктурная, развивающаяся иерархическая система. В соответствии с подходом, описанным в [3; 28], в основу синергетической архитектуры деятельности СинАрД положены четыре взаимодействующие структуры — когнитивная, поведенческая, интенциональная, а также структура опыта.

Когнитивная структура характеризует *познавательную активность* агента, связанную с отражением объекта и условий деятельности, построением *внутренней модели* внешней среды.

Интенциональная структура охватывает основные внутренние механизмы деятельности *агента,* ее *источники, причины, стимулы и* ожидаемые результаты.

Структура организации *поведения* отвечает за регуляцию *внешней* части *деятельности* агента, прежде всего за выработку планов и стратегий поведения.

Структура опыта выражает *динамику обучения* агента, т. е. освоения и развития его деятельности.

Вариант общей архитектуры деятельности агента [3; 11; 30] изображен на рисунке 7 в виде иерархической (многослой-

ной) семантической сети. Ядром этой архитектуры является трехуровневая схема развертывания деятельности: *деятельность — действие — операция* (по А. Н. Леонтьеву [24]).

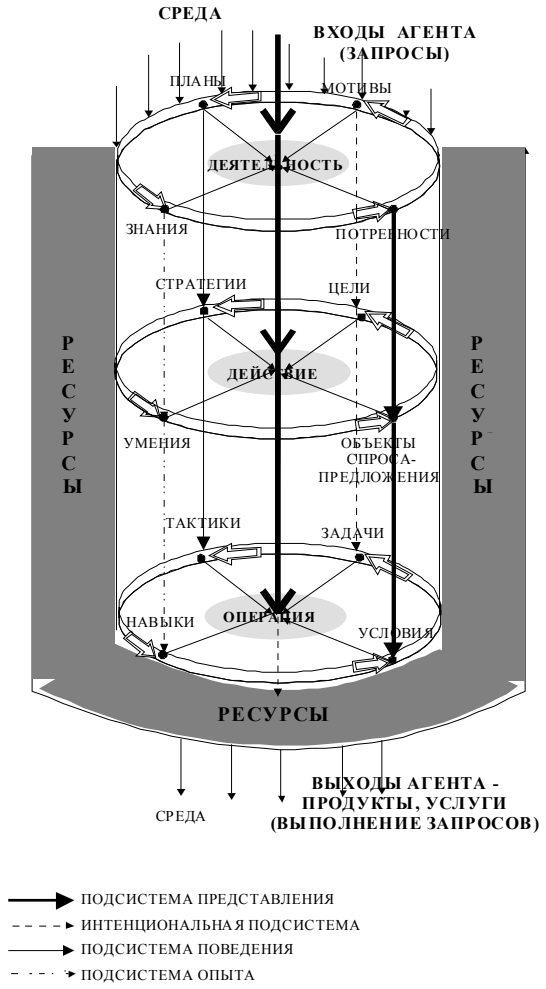


Рис. 7. Архитектура деятельности интенционального агента

В данной архитектуре на каждом уровне отражены как радиальные связи (от периферии к центру) между регулятивными (интенциональными, поведенческими) и морфологическими компонентами деятельности, так и кольцевые связи между базовыми функциями организации деятельности.

В общем случае можно указать, что:

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ = F (СРЕДА, ПОТРЕБНОСТИ, МОТИВЫ, ПЛАНЫ, ЗНАНИЯ);

ДЕЙСТВИЕ = G (ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ОБЪЕКТЫ, ЦЕЛИ, СТРАТЕГИИ, УМЕНИЯ);

ОПЕРАЦИЯ = H (ДЕЙСТВИЕ, УСЛОВИЯ, ЗАДАЧИ, РЕАКЦИИ, НАВЫКИ),

где F, G и H — отношения полиморфизма («один-ко-многим»).

В отличие от представления деятельности как «черного ящика», эта трехуровневая и двухконтурная архитектура может рассматриваться как «прозрачный ящик». В ней раскрываются внутренние механизмы деятельности путем анализа *подсистем представления (моделирования внешней среды) и опыта, поведения (внешней регуляции) и интенциональной подсистемы (саморегуляции)*.

Генезис и эволюция деятельности здесь изучаются на основе как вертикальных отношений *мотивы — цели — задачи*, *планы — стратегии — реакции*, *знания — умения — навыки*, так и горизонтальных отношений *потребности — мотивы — планы — знания*, *объекты удовлетворения потребностей — цели — стратегии — умения*, *условия — задачи — реакции — навыки*, определяющих контуры самоорганизации (см. схему билатерального регулирования у Б. Г. Ананьева [26]).

Соответственно, понятие агента как деятеля можно определить в зависимости от выбранного (или технически достижимого) уровня антропоморфизма неким подмножеством из указанного набора характеристик деятельности. При разработке реактивных агентов со стимульно-реактивным поведением можно ограничиться моделированием характеристик нижнего уровня и их связей с функциями среднего уровня. Наоборот, при создании интеллектуальных агентов, которые должны

иметь достаточно развитые внутренние модели внешнего мира, средства проведения рассуждений, а также модули организации действий, необходимо подробно исследовать отношения между понятиями верхнего уровня, а также связи со средним уровнем.

Интеллектуальную среду (Ambient Intelligence) можно рассматривать как искусственного метаагента, который взаимодействует с физико-технической средой с целью обеспечения комфортных условий деятельности естественных агентов, а также в интересах проведения мониторинга технических объектов, объединенных средствами «интернета вещей», подготовки и поддержки принятия управленческих решений. Когнитивно-регулятивная координация метаагента при его взаимодействии с физико-технической средой описывается парой «когнитивный интервал — уровень регуляции».

Заключение

Перспективы архитектуры деятельности агента СинАрД связаны с ее валидацией и применением в различных областях. Так, в [31] модифицированная архитектура СинАрД использована для создания виртуальной бизнес-среды развития инноваций. При этом она рассмотрена вместе с внутренней подсистемой имитационного моделирования. Предложен вариант реализации имитационного аппарата агентов на основе системно-динамических моделей в многоагентной среде.

В этом контексте также следует развивать гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией [32], обеспечивающие гибкие переходы от кооперативных к конкурентным стратегиям деятельности и обратно.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 16-11-00018) и РФФИ (гранты № 14-07-00846 и № 15-07-05623).

Список литературы

1. *Поспелов Д. А.* Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту. М. : Наука, 1982.

2. *Поспелов Д. А.* О задачах психоники // Вопросы бионики. 1967. С. 294—297.

3. *Тарасов В. Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

4. *Reggia J.* The Rise of Machine Consciousness: Studying Consciousness with Computational Models // Neural Networks. 2013. Vol. 44. P. 112—131.

5. *Брушлинский А. В.* Мышление и прогнозирование. М. : Мысль, 1979.

6. *Осипов Г. С.*, *Панов А.И, Чудова Н. В.* Управление поведением как функция сознания // Теория и системы управления. 2014. №4. С. 49—62.

7. *Samsonovich A. V.* On a Roadmap for the BICA Challenge// Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2011. Vol. 1. P. 100—107.

8. *Laird J. E., Congdon C. B.* The Soar User's Manual: Version 9.1. University of Michigan, 2009.

9. *Weyns D.* Architecture-Based Design of Multi-Agent Systems. Heidelberg : Springer-Verlag, 2010.

10. *Tarassov V. B.* Building Activity Architectures for Multiagent Systems — On the Way to Intelligent Organizations // Proceedings of the International Workshop «Distributed Artificial Intelligence and Multiagent Systems» (DAIMAS'97, St. Petersburg, Russia, June 15—18, 1997). SPb. : SPIIRAS Ed., 1997. P. 348—351.

11. *Tarassov V. B.* Ambient Intelligence: Concepts, Models, Architectures // Lecture at the First International Early Research Enhancement School on Biologically Inspired Cognitive Architectures (FIERCES on BICA, Moscow, April 21—24, 2016).

12. *Ferber J.* Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. Paris : InterEditions, 1995.

13. *Тарасов В. Б., Борисов А. В.* Логическое моделирование когнитивных и коммуникативных характеристик агентов: единый подход // Труды 10-й национальной конференции по ИИ (КИИ-2006, Обнинск, 25—28 сентября 2006 г.). М. : Физматлит, 2006. Т. 3. С. 916—928.

14. *Тарасов В. Б.* Грануляция информации — основа когнитивных процессов и предпосылка создания интеллектуальных систем новых поколений // Подходы к моделированию мышления / под ред. В. Г. Редько. М. : ЛЕНАНД, 2014. С. 219—261.

15. *Georgeff M.P., Rao A.S.* BDI Agents: From Theory to Practice// Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'95, San Francisco, 1995)/ Ed. by V. Lesser. San Francisco : AAAI Press/The MIT Press. P. 312—319.

16. *Bratman M*. Faces of Intention. Cambridge : Cambridge University Press, 1999.

17. *Dyundyukov V.S., Tarassov V.B.* Goal-Resource Networks and Their Application to Agents Communication and Co-Ordination in Virtual Enterprise // Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control (MIM'2013, Saint-Petersburg, Russia, June 19—21, 2013). SPb. : IFAC Proceedings Volumes, 2013. P. 347—352.

18. *Деннет Д.С.* Виды психики: на пути к пониманию сознания / пер. с англ. М. : Идея-Пресс, 2004.

19. *Cohen P.*, *Levesque H*. Intention Is Choice + Commitment // Journal of Artificial Intelligence. 1990. Vol. 42. P. 213—261.

20. *Kiss G.* Variable Coupling of Agents to Their Environment: Combining Situated and Symbolic Automata // Decentralized Artificial Intelligence 3 / ed. by E. Werner, Y. Demazeau. Amsterdam: Elsevier / North-Holland, 1992. P.231—248.

21. *Shoham Y., Cousins S.B*. Logics of Mental Attitudes in AI // Foundations of Knowledge Representation and Reasoning / ed. by G. Lakemeyer, B. Nebel. Heidelberg : Springer-Verlag, 1994. P. 296—309.

22. *Щедровицкий Г.П.* Исходные представления и категориальные средства теории деятельности // Избранные труды. М. : ШКП, 1995.

23. *Bedny G., Meister D*. The Russian Theory of Activity: Current Applications to Design and Learning. N. Y. : Psychology Press, 2014.

24. *Леонтьев А.Н.* Деятельность. Сознание. Личность. М. : Смысл ; Академия, 2005.

25. *Рубинштейн С.Л.* Избранные философско-психологические труды: основы онтологии, логики и психологии. М. : Наука,1997.

26. *Ананьев Б.Г.* О проблемах современного человекознания. 2-е изд. СПб. : Питер, 2001.

27. *Ломов Б.Ф.* Психическая регуляция деятельности. Избранные труды. М. : Изд-во Института психологии РАН, 2006.

28. *Волков А.М., Микадзе Ю.В., Солнцева Г.В*. Деятельность: структура и регуляция. М. : Изд-во МГУ, 1987.

29. *Суходольский Г.В*. Введение в математико-психологическую теорию деятельности. СПб. : Изд-во СПбУ, 1998.

30. *Тарасов В. Б.* От инженерии знаний к самоорганизации деятельности: новая парадигма в искусственном интеллекте // Научная сессия МИФИ-2004 : сб. науч. тр. (Москва, 28 января 2004 г.). М. : МИФИ, 2004. Т. 3: Интеллектуальные системы и технологии. С. 22—23.

31. *Маслобоев А. В.* Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. 113—124.

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

Н. Г. Ярушкина
Ульяновский государственный технический университет, Россия
e-mail: jng@ulstu.ru

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТРИК ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Введение

У большинства крупных проектных предприятий имеются значительные архивы различного рода проектов. Наряду с электронными архивами конструкторско-технологической документации при разработке сложных программно-аппаратных комплексов для хранения проектных документов и программного кода широко используется система контроля версий (СКВ). В СКВ регистрируется множество различных событий, касающихся сущностей и событий проекта. Жизненный цикл сложной системы — продолжительный и включает в себя несколько модернизаций, каждую из которых можно рассматривать как проект. Проекты одной организации обычно взаимосвязаны между собой. В связи с этим в крупной проектной организации массив действующих активных проектов очень большой. Естественным агрегатором сущностей всех проектов является СКВ, так как она вбирает в себя всю информацию о проектных событиях. Поэтому в крупных проектных организациях появляется многоуровневая модель управления. Воз-

© Ярушкина Н. Г., 2016

никает сложный контур метауправления, который управляет совокупностью проектов на протяжении длительного времени. Появляется проблема мониторинга состояния проектной деятельности для главного инженера (конструктора) сложных проектов. Следовательно, важно иметь инструмент измерения характеристик проектной деятельности, который позволяет отследить динамику совокупности проектов, идентифицировать проблемы и своевременно принять корректирующие регулирующие воздействия, в том числе перераспределение ресурсов между проектами.

Формой представления метрики проекта может стать временной ряд, который будет получаться на основе выделенных характеристик за определенный период времени по каждому проекту.

Одна из задач управления проектом — задача прогнозирования развития проекта. Прогноз с учетом основных задач ведения проекта (например, прогноз получения ошибок) покажет его успешность и позволит руководителю проекта обоснованно распределять задания разработчикам.

Для успешной реализации проекта целесообразно использовать аналогию (сходство) проектов. Таким образом, появляется задача создания средства для управления проектом, которое автоматизирует процессы кластеризации по сходству всех имеющихся событий проектов предприятия для последующего прогноза значений.

1. Формализованная постановка задачи

Для обработки совокупности проектов разработана модель процесса проектной деятельности с точки зрения управления проектами.

Модель анализа и управления проектами представляет восьмерку объектов:

$$\{C_t, R_t, B_t, I_t, F_t, R^{BI}, R^{IF}\},$$

где C_t — временной ряд завершенных транзакций (*commits*); R_t — временной ряд версий (*release*); B_t — временной ряд

количества ошибок (*bugs*); I_t — временной ряд усовершенствований (*improvement*); F_t — временной ряд новых функциональных свойств (*NewFeature*); R^{BI} — зависимость количества ошибок от реализации усовершенствований (*bugs* от *improvements)*; R^{IF} — зависимость новых функциональных свойств от числа усовершенствований (*New Features* от *improvements*) [1].

Предлагаемый подход реализует представление временных рядов проектных событий разрабатываемого проекта в виде нечеткого временного ряда значений и временного ряда нечетких тенденций [2]. Каждая нечеткая тенденция представляется в виде кортежа отношения:

$$\tau = < \tilde{v}, \tilde{a}, \Delta t, \mu > ,$$

где τ — наименование нечеткой тенденции из множества $\Im$, $\tau \in \Im$; $\tilde{v}$ — тип нечеткой тенденции (тип изменений) $\tilde{v} \in \tilde{V}$ выражает основные качественные зависимости временных рядов {*Падение, Рост, Стабильность*}; $\tilde{a}$ — интенсивность нечеткой тенденции, $\tilde{a} \in \tilde{A}$, которое выражается лингвистически, например значениями из множества {*Сильное, Среднее, Слабое*}; Δt — продолжительность нечеткой тенденции, $\Delta t \in \Delta T$; μ — функция принадлежности участка нечеткого временного ряда, ограниченного интервалом Δt нечеткой тенденции τ.

Тенденция называется элементарной, если $\Delta t = 1$ [3].

2. Доминирующая тенденция временного ряда и коэффициент сходства

Для выделения доминирующей нечеткой тенденции адаптирован численный алгоритм нечеткой кластеризации или FCM-алгоритм. (*Fuzzy Classifier Means, Fuzzy C-Means*), который предполагает, что объекты принадлежат всем кластерам с определенной функцией принадлежности. Результатами данного метода будет доминирующая тенденция, образующая самый многочисленный кластер.

Для выявления сходства между рядами метрик двух проектов вычисляется коэффициент подобия. Чтобы установить степень сходства временных рядов (ВР) нечетких элементарных тенденций (НЭТ), предложен критерий оценки соответствия поведения исследуемого ВР поведению ВР, предполагаемого предиктора [5].

В ходе исследований разработан коэффициент сходства проектов, который определяется расстоянием между одновременными нечеткими элементарными тенденциями (НЭТ) ВР метрик:

$$\rho(\tau_1,\tau_2)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\rho(\tilde{\upsilon}_i^{\tau_1},\tilde{\upsilon}_i^{\tau_2})\cdot\rho(\tilde{\alpha}_i^{\tau_1},\tilde{\alpha}_i^{\tau_2})\cdot\sqrt{\rho(\mu_i^{\tau_1},\mu_i^{\tau_2})^2}\right),$$

где $\rho\left(\tilde{\upsilon}_i^{\tau_1},\tilde{\upsilon}_i^{\tau_2}\right)=\begin{cases}0,\ \tilde{\upsilon}_i^{\tau_1}=\tilde{\upsilon}_i^{\tau_2}\\ 1,\ \tilde{\upsilon}_i^{\tau_1}\neq\tilde{\upsilon}_i^{\tau_2},\tilde{\upsilon}_i^{\tau_1},\tilde{v}_i^{\tau_2}\neq C\\ 0{,}5,\ \tilde{\upsilon}_i^{\tau_1}\neq\tilde{\upsilon}_i^{\tau_2},\tilde{\upsilon}_i^{\tau_1} or\ \tilde{v}_i^{\tau_2}=C\end{cases}$,

$\rho\left(\tilde{\alpha}_i^{\tau_1},\tilde{\alpha}_i^{\tau_2}\right)=\begin{cases}1,\ \tilde{\alpha}_i^{\tau_1}\neq\tilde{\alpha}_i^{\tau_2}\\ 0,\ \tilde{\alpha}_i^{\tau_1}=\tilde{\alpha}_i^{\tau_2}\end{cases}$,

$\rho(\mu_i^{\tau_1},\mu_i^{\tau_2})=|\mu_i^{\tau_1}-\mu_i^{\tau_2}|$,

$0\leqslant\rho\left(\tau_1,\tau_2\right)\leqslant 1$.

3. Нечеткое моделирование и прогнозирование временного ряда метрик программного обеспечения

В настоящей работе предложено выполнять прогноз на основе одной из трех гипотез: гипотеза сохранения/смены тенденции; гипотеза устойчивости/неустойчивости тенденции; прогнозирование на заданный период на основе НЭТ. Если подтверждается подобие между двумя временными рядами метрик событий проекта, то используется алгоритм корректировки прогноза, в котором на первом этапе выполняется корректировка прогноза временного ряда на основе результатов

кластеризации доминирующей тенденции. На втором шаге откорректированная гипотеза прогноза адаптируется под доминирующую тенденцию временного ряда предиктора, то есть ряда, который имеет влияние на прогнозируемый временной ряд. Полученные значения гипотез прогноза оцениваются с помощью квадрата среднеквадратичной ошибки (MSE) и средней квадратичной ошибки (RMSE).

4. Алгоритм коррекции прогноза

Алгоритм коррекции прогноза на основе ряда-предиктора включает в себя следующую последовательность действий:

1. Прогнозируются НЭТ ВР *Y:* $\tau_{t+1}^{Y} = f(\tau_t^{Y})$, где τ_{t+1}^{Y} — прогнозная НЭТ ВР *Y;* τ_t^{Y} — текущая НЭТ ВР *Y*; f — зависимость в НЭТ ВР *Y*.

2. Прогнозная НЭТ ВР Y корректируется с учетом компонент основных тенденций исследуемого ВР $G\tau_Y$ и ВР предиктора $G\tau_Z$ соответственно: $\hat{\tau}_{t+1}^{Y} = r(\tau_{t+1}^{Y}, G\tau_Y, G\tau_Z)$, где τ_{t+1}^{Y} — прогнозная НЭТ ВР *Y*, $\hat{\tau}_{t+1}^{Y}$ — прогнозная НЭТ ВР Y после корректировки, $G\tau_Y$ — основная нечеткая тенденция (НТ) *Y*, $G\tau_Z$ — основная НТ ВР *Z*, r — правила корректировки.

3. Для получения оценки прогнозного значения числового ВР *Y* используются оценки MSE и RMSE.

5. Комплекс программ анализа динамики метрик программного обеспечения

В ходе исследования разработана новая архитектура системы управления версиями проекта, включающая компоненту анализа временных рядов индикаторов состояния разработки проектных решений, в качестве инструмента управления проектом (рис.).

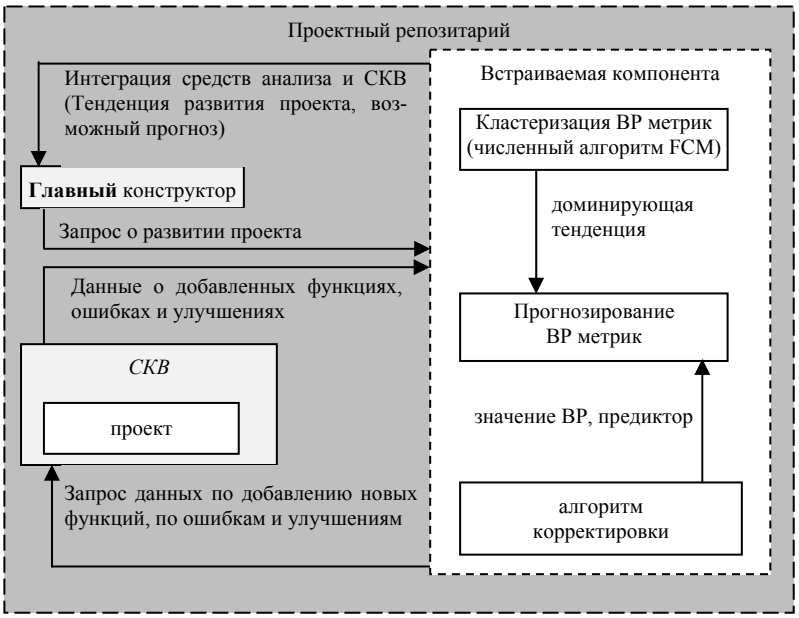


Рис. Архитектура СКВ с компонентой анализа метрик

6. Вычислительные эксперименты

Разработанная методика прогнозирования временных рядов индикаторов состояния проекта в системе контроля версий применена для анализа трех проектов [4]: во-первых, проект с открытым кодом MongoDB, а именно главная его программная часть CoreServer; во-вторых, были рассмотрены данные поступления отчетов по изделиям в архив отдела технической документации ФНПЦ АО «НПО «Марс»; проект по разработке автоматизированной системы «Разработка нечетких моделей и реализация нечетких методов прогнозирования временных рядов» по заказу ООО «Эверест Ресерч».

MongoDB (jira. mongodb. org) — документо-ориентированная система управления базами данных (СУБД) с открытым исходным кодом. Написана на языке C++.ВР были взяты за

период начиная с декабря 2014-го до августа 2015 г. Поступления технической документации в архив ФНПЦ АО «НПО «Марс» по данным экспертной оценки изделия можно охарактеризовать следующим образом: изделия 42 и 54 поставляются на экспорт; 275 и 220 — опытные образцы; изделия (3,41,180) и (142,14,54) являются подобными, в них достаточное количество заимствованных документов и примерно похожая конфигурация приборов.

По полученным результатам анализа метрик событий проекта MongoDB можно сделать следующие выводы: сходство значительно для переменных «усовершенствования» и «новые функции», «ошибки» это говорит о влиянии появления задач на усовершенствование результатов проекта на количество ошибок.

Согласно результатам анализа данных по поступлениям документов в архив подведены следующие итоги: по статистике поступления документов в архив изделий 14 и 54 сходство и корреляция значительны, это говорит о влиянии результатов разработки изделия с кодом 54 на процесс разработки изделия с кодом 14. Аналогичные выводы по изделиям 275-142, 220-14, 220-54, 180-41. Также можно добавить, что результаты разработки изделий 142,14 и 54 влияют на процесс разработки экспортных образцов изделий 275 и 220.

Выявленные зависимости между ВР проектных метрик позволили получить прогнозы развития проекта.

Заключение

Главным итогом исследования является создание моделей, алгоритмов анализа и средств управления проектной деятельностью на основе метрик проектных событий. Разработана формализованная модель состояния проектной деятельности на основе метрик проектов, загруженных в систему контроля версий проектного репозитория. Разработаны модели и алгоритмы прогнозирования нечетких временных рядов метрик проекта, в том числе алгоритм прогнозирования временных рядов метрик проекта на основании мер сходства.

Список литературы

1. *Ярушкина Н.Г., Тимина И.А.* Модель и средства управления проектированием автоматизированной системы на основе динамики метрик программного кода // Автоматизация процессов управления. Ульяновск : НПО «Марс». 2015. №3(41). С. 73—81.

2. *Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г.* Интеллектуальный анализ временных рядов. М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2012.

3. *Yarushkina N.* Soft computing and complex system analysis // International Journal of General Systems. 2001. Vol. 30, №1. P. 71—88.

4. *ГОСТ* Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М. : Госстандарт России, 2001.

5. *Перфильева И.Г., Романов А.А.* Извлечение знаний о группах временных рядов для задач прогнозирования // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014. Сентябрь 2014. С. 75—83.

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. В. Барзенков[1], В. И. Данишевский[2], И. А. Кириков[3], С. Б. Румовская[4]
[1, 2] БФУ им. И. Канта, [3,4] КФ ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия
e-mail: [1]avbarzenkov@mail.ru, [2]danishevskii.v.i@mail.ru,
[3]baltbipiran@mail.ru, [4]sophiyabr@gmail.com

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ЗАОЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКСПЕРТОВ

Введение

Современные технологические решения и подходы к организации рабочего процесса постоянно претерпевают изменения, что обусловлено появлением новых типов взаимосвязей в рабочих группах и коллективах. Одной из основных тенденций современных рабочих процессов можно выделить появление большого числа виртуальных коллективов.

Ключевым аспектом виртуальных организаций является система взаимосвязей сотрудников, которые могут быть расположены на больших расстояниях друг от друга. В таких организациях лица, ответственные за принятие решений, вынуждены взаимодействовать посредством каналов связи. При этом увеличение объемов информации, обрабатываемой виртуальными коллективами, затрудняет, а иногда делает невозможной обработку информации с использованием стандартных методов. Развитие компьютерных технологий влечет появление новых методов взаимодействия экспертов.

© Барзенков А. В., Данишевский В. И., Кириков И. А., Румовская С. Б., 2016

1. Методы заочного взаимодействия экспертов

Исследования в области психологии [1] позволяют сделать вывод, что с решением трудоемких задач с наибольшим успехом справляются группы людей, а не индивидуальные сотрудники. Особый интерес представляют методы заочного взаимодействия экспертов, которые позволяют организовать взаимодействие людей, совместно работающими над решением общих задач в виртуальных гетерогенных коллективах (ВГК) [2].

В настоящей статье рассматриваются: системы поддержки принятия групповых решений (СППГ); социальные сети; средства мгновенного обмена сообщениями и видеоконференцсвязи; неигровые виртуальные миры.

2. Системы поддержки принятия групповых решений

Аналоги СППГ в той или иной форме существовали давно. К ним условно можно отнести военные советы, коллегии министерств, аналитические центры и т. д. Функции и методы разные, но основная цель — выполнение задач — во многом схожа с современными человеко-машинными процедурами.

СППГ помогает экспертам в переговорах, согласовании решения, в связи участников вычислительной сетью. Она облегчает обмен предложениями и контрпредложениями, помогает оценить приоритеты составляющих проблемы, генерацию компромиссных вариантов, моделирует последствия вариантов решений. Особо эффективны СППГ при комплексном подходе — от обучения переговорам до заключения соглашения по проблеме. Например, известно четыре варианта применения СППГ INSPIRE [3]: 1) учебные игры в принятии групповых решений; 2) инструмент подготовки к переговорам; 3) моделирование предстоящих переговоров; 4) поддержка и помощь в реальных переговорах. Программный комплекс «АЛЕСТАР ЭКСПЕРТ» [4] помогает согласовать групповые решения по выбору лучшей альтернативы при тестировании сайтов на удобство эксплуатации.

СППГ по многим параметрам превосходят традиционные групповые собрания без использования технологий [5]. СППГ позволяют перерабатывать большой объем информации в реальном масштабе времени; предоставляют ретроспективу за интересующий период и перспективу по выбранному показателю; генерируют и анализируют возможные варианты решений и осуществляют выбор наилучшего сценария; реализуют групповую обработку данных.

К основным недостаткам СППГ можно отнести ограниченность форм коммуникации, поскольку взаимодействие происходит прежде всего посредством текстовой информации, а также невозможность использовать систему для коллективного творчества и генерации новых знаний.

3. Социальные сети

Социальная сеть — платформа, онлайн-сервис или веб-сайт, предназначенные для построения, отражения и организации социальных взаимоотношений в Интернете. Примерами социальных сетей являются Stack Overflow, GitHub, Ответы@mail.ru, ВКонтакте и др.

Stack Overflows [6] — система вопросов и ответов о программировании, предоставляет возможность оценивать вопросы и ответы, что поднимает или понижает репутацию пользователей, позволяет выбрать подходящий ответ. Вопросам присваиваются теги, что дает возможность их структурировать.

GitHub [7] — это социальный репозиторий для проектов с открытым исходным кодом. Главная задача GitHub — сделать процесс разработки простым и увлекательным. Кроме размещения кода, участники могут общаться, комментировать правки друг друга, а также следить за новостями знакомых. GitHub может отображать вклад каждого участника в виде дерева.

Ответы@Mail. Ru [8] — служба вопросов и ответов компании Mail.Ru Group. Запуская «Ответы», компания называла их социальным поисковиком, способным компенсировать неэффективность машинного поиска и неточности в формули-

ровке запроса. Ключевая метрика — КПД — это отношение лучших ответов к общему числу ответов (лучший ответ выбирается автором вопроса или по результатам голосования). От него зависит число полученных за ответ баллов: чем выше КПД участника, тем больше баллов начисляется. За вопросы и нарушение правил система вычитает баллы.

ВКонтакте [9] — это социальная сеть для быстрой и удобной коммуникации между людьми по всему миру. Пользователи могут обмениваться сообщениями, следить за новостями друзей, заводить новые знакомства, смотреть фотографии, видео- и аудиозаписи, участвовать в обсуждениях, вступать в сообщества, оценивать контент.

Социальные сети предоставляют участникам возможность выражать мысли одновременно, оценивать вклады участников, присваивать им определенный статус, обладают определенной структурированностью. Но присутствует низкая скорость коммуникации (информация передается посредством текста) и неэффективность для собраний-выступлений, когда одному лицу необходимо быстро донести информацию до остальных.

4. Средства мгновенного обмена сообщениями и видеоконференцсвязи

Примерами средств мгновенного обмена сообщениями и видеоконференцсвязи выступают Skype for Business, VideoMost, iMind и др.

Skype for Business [10] — это коммуникационная площадка, которая позволяет добавлять к собраниям по сети до 250 человек, управлять учетными записями сотрудников и встраиваться в приложения Office для совместной работы.

VideoMost [11] — программный продукт для проведения многоточечных веб-видеоконференций на персональных компьютерах и мобильных устройствах через Интернет, применяется для проведения совещаний, деловых встреч, переговоров, обеспечения видеосвязи в территориально распределенных организациях, создания ситуационных центров и контакт-центров, дистанционного обучения.

iMind [12] — сервис, предназначенный для организации вебинаров, веб-видеоконференций и трансляций, предоставляет возможность организовывать трансляции для более 10 тысяч пользователей одновременно, возможность работы с презентациями, демонстрации рабочего стола участникам конференции, текстового обмена сообщениями между участниками.

Средства мгновенного обмена сообщениями и видеоконференцсвязи обладают следующими преимуществами: эффективность для собраний-выступлений, высокая скорость коммуникации за счет использования различных каналов передачи информации и недостатками: невозможность выражать мысли одновременно, неструктурированность.

5. Неигровые виртуальные миры

Виртуальные миры или многопользовательские виртуальные среды представляют собой трехмерные виртуальные среды, которые моделируют объекты реального мира и взаимодействия, а также доступны множеству пользователей одновременно в глобальном масштабе [13]. Несмотря на то что неигровые виртуальные миры (НВМ) разрабатывалась параллельно и независимо от игровых виртуальных систем, во многом принципы и идеи имеют схожую структуру. Механика игрового мира практически не имеет отличий в логике работы среды с НВМ, различия только в задачах, которые обе модели решают. Примерами неигровых виртуальных миров являются TIMVI, Second Life, Active Worlds, Jibe, Blue Mars и др.

Second Life — трехмерный виртуальный мир с элементами социальной сети. Владельцы аккаунтов могут участвовать в сообществах по интересам, создавать виртуальные объекты, общаться в чате или голосом, путешествовать и др. Используя Second Life, IBM и Sun Microsystems выстраивает виртуальное рабочее пространство сотрудников, работающих вне основного офиса. Reuters и CNN применяют Second Life для распространения и получения информации, а NASA открыло виртуальный исследовательский центр [14].

Виртуальный мир Active Worlds [15] — это трехмерное пространство, создаваемое пользователями Интернета для общения и совместного творчества. Пользователи могут общаться, играть, выбирать для себя любой внешний вид, видеть себя и своих собеседников, выражать эмоции с помощью жестов, свободно перемещаться по миру и создавать объекты в нем.

TIMVI [16] применяется компаниями для создания он-лайн офисов для более эффективного ведения бизнеса.

Team Space [17] дает возможность общаться с несколькими пользователями одновременно с использованием совместного экрана, обмениваться документами, обсуждать вопросы.

Jibe [18] — многопользовательский 3D виртуальный мир, созданный компанией ReactionGrid. Jibe позволяет создавать, публиковать и управлять своим собственным виртуальным миром, который может быть встроен в любую веб-страницу.

Blue Mars [19] — научно-фантастический виртуальный мир, который базируется на концепции «пользователи сами создают то, что им хочется» и является сопоставимым аналогом Second Life.

Таким образом, неигровые виртуальные миры дают возможность имитировать воздействие и реакции на него, представлять информацию в различных формах, могут быть интерфейсом взаимодействия. В то же время к недостаткам неигровых виртуальных миров можно отнести ограниченные возможности компьютерной графики и отсутствие механизмов компьютерного распознавания действий аватаров.

6. Анализ методов заочного взаимодействия

Каждая категория методов заочного взаимодействия экспертов обладает своими преимуществами и недостатками, которые, как правило, вызваны особенностями технологий. Тем не менее присущие каждому методу заочного взаимодействия экспертов недостатки можно описать следующим образом: 1) они предназначены в основном для автоматизации рутинных процедур, а не для полноценного участия в генерации

знаний и взаимодействия с экспертами на равных; 2) они усложняют мобилизацию и активизацию участников на решение проблем; 3) они ослабляют коллективные эффекты непосредственного взаимодействия экспертов; 4) из-за несовершенства человеко-машинного взаимодействия затрудняют работу экспертов над своими частями сложной задачи, представление на общее рассмотрение результатов решения и коммуникацию участников.

В то же время преимущества каждого из методов заочного взаимодействия экспертов могут быть объединены в ВГК и встроены в них: социальные сети — как средства для организации знаний; средства мгновенного обмена сообщениями и видеоконференцсвязи — как интерфейс взаимодействия аватары с экспертом; системы поддержки принятия групповых решений — как средства поддержки взаимодействия аватары с экспертом; неигровые виртуальный миры — как место для организации знаний и взаимодействия аватаров.

Заключение

На сегодняшний день не существует метода, который объединял бы преимущества методов заочного взаимодействия. В то же время преимущества рассмотренных методов заочного взаимодействия экспертов могут быть объединены в ВГК.

Комбинация рассмотренных методов позволит создать модель ВГК, интегрирующую КИ с ИГК и обеспечивающую своих членов независимо от природы возможностью «осмысления» информации, генерации и обмена знаниями, а также выполняющую функции лица, принимающего решения, по организации взаимодействий в коллективе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Брагина Е.А.* Исследование особенностей решения задач в индивидуальной и совместной деятельности: ил РГБ ОД 61:85-19/38.

2. *Кириков И. А., Колесников А. В., Листопад С. В. и др.* Виртуальные гетерогенные коллективы, поддерживающие принятие решений // Системы и средства информатики. 2015. № 25(3). С. 126—149.

3. *Файнзильберг Л. С.* Обучаемая система поддержки коллективного решения группы независимых экспертов // Управляющие системы и машины. 2003. № 4. С. 62—67.

4. *Старцев А. В.* Модели согласования экспертных оценок в процедурах группового выбора : дис. ... канд. техн. наук. М.: РГБ, 2004.

5. *Nunamaker J., Dennis A., Valacich J. et al.* Electronic meeting systems to support group work: Theory and practice at Arizona // Communications of the ACM. 1991. Vol. 34(7). P. 30—39.

6. *About* — Stack Overflow. URL: http://stackoverflow.com/company/about/

7. *About* GutHab. URL: https://github.com/about

8. *Помощь* Ответы@Mail. Ru Что такое Ответы?. URL: http://help.mail.ru/otvety-help/about.

9. *О сайте* ВКонтакте. http://vk.com/about.

10. *В чем* отличие Skype от Skype для бизнеса? URL: https://support.skype.com/ru/faq/FA34551/v-cem-otlicie-skype-ot-skype-dla-biznesa.

11. *HD* видеоконференции — системы организации видеоконференции. Что такое видеоконференции. URL: http://www.videomost.com/.

12. *О компании* Mind. URL: https://www.imind.ru/company/.

13. *Nelson B., Ketelhut D., Clarke J. et al.* Designbased research strategies for developing a scientific inquiry curriculum in a multi-user virtual environment // Educational Technology. Vol. 2005. 45(1). P. 21—28.

14. *Second* Life in the News. Second Life. URL: https://secondlife.com/news/.

15. *Activeworlds.ru* — Активные миры — Россия. URL: http:// activeworlds.ru/.

16. *Timvi* VR — коммуникационная платформа. URL: http://timvi.com/.

17. *Teamspace*. What is teamspace? URL: https://www.teamspace.com/.

18. *Jibe* — Candidate Experience and Recruiting Software. URL: https://www.jibe.com/.

19. *BLUE* MARS. URL: http://www.bluemars.com.

Д.В. Березкин[1], Г.И. Ревунков[2], Ю.Е. Гапанюк[3]
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: [1]berezkind@bmstu.ru, [2]revunkov@bmstu.ru, [3]gapyu@bmstu.ru

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ГИБРИДНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Постоянное усложнение решаемых задач, стремительный рост хранимых и обрабатываемых данных, их разнородность, необходимость обрабатывать и анализировать слабоструктурированные данные, поступающие из глобальной сети Интернет, определяют требования к архитектуре современной информационной системы (ИС). Эта система должна эффективно решать задачи управления знаниями: манипулировать информацией в текстовой форме, причем тексты могут иметь различные наборы знаков и объединять в себе разные модели данных и знаний, включая изображения, звук, а также хорошо структурированные данные. Созданию такой технологии управления знаниями и проработке архитектуры такого рода гибридной ИС, содержащей элементы искусственного интеллекта, была посвящена работа [1]. В ней показано, что такая ИС сложна по своей структуре и использует различные модели и представления данных и знаний, а также большой набор методов их обработки и анализа. Поэтому на таком уровне обобщения возникает гибридная ИС, которая объединяет в себе другие гибридные ИС с элементами искусственного интеллекта (ГИИС).

Основой для хранения разнородных данных и знаний должно быть гибридное хранилище данных, которое должно содержать полнотекстовое хранилище и структурированное хранилище. При этом возможно большое количество вариантов реализации такого подхода.

Рассмотрим варианты реализации полнотекстового хранилища.

© Березкин Д.В., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е., 2016

1. Полнотекстовый поиск в некоторых реляционных и постреляционных СУБД (MS SQL Server, Oracle PostgreSQL).

В этих СУБД предпочтение отдается структурированным данным, полнотекстовый поиск — это дополнительная возможность, качество поиска является удовлетворительным не для всех проектов.

2. Системы полнотекстового поиска, использующие в качестве источника данных реляционные и постреляционные СУБД, но при этом применяют собственные механизмы полнотекстовой индексации.

В качестве примера таких проектов можно назвать Sphinx и Apache Solr. На данном уровне системы, как правило, уже обладают развитым языком полнотекстовых запросов.

3. Системы полнотекстового поиска, которые используют в качестве источника данных собственное хранилище.

Как пример подобных проектов можно назвать систему ODB-Text [2], построенную на базе ООСУБД ODB-Jupiter. В качестве языка полнотекстовых запросов применяется JQL.

Многие полнотекстовые хранилища фактически уже являются гибридными, однако такой уровень гибридизации трудно признать удовлетворительным, так как в этом случае СУБД используются просто для хранения текстов, без возможности обращения к смысловым элементам текста.

Рассмотрим варианты реализации структурированного хранилища.

1. Применение реляционной или постреляционной СУБД.

В этом случае данные хранятся в виде реляционных таблиц, в качестве языка запросов используются диалекты SQL. В настоящее время реляционные СУБД часто используют как хранилище метаданных, реализуя поверх реляционных таблиц более гибкие схемы данных, например объектно-ориентированную или документно-ориентированную.

2. Применение документно-ориентированных СУБД.

В этом случае данные хранятся в слабоструктурированном виде, например в формате JSON (СУБД MongoDB, CouchDB, OrientDB и др.) или в формате XML (СУБД eXist, Sedna и др.).

Языки запросов для таких СУБД очень разнятся. К примеру, XML-ориентированные СУБД используют развитый язык запросов XQuery, а некоторые JSON-ориентированные СУБД (в частности, MongoDB) вообще не имеют языка запросов. Вместо языка запросов MongoDB использует специализированное API.

Документно-ориентированные СУБД, как правило, выигрывают у реляционных СУБД в гибкости хранения данных, но при этом уступают им в производительности обработки данных.

3. Применение графового подхода к хранению структурированных данных.

В настоящее время графовый подход все чаще используется для хранения структурированных данных, так как он в большей степени подходит для хранения сложной семантики данных. В рамках графового подхода в свою очередь можно выделить несколько различных направлений.

3.1. Применение стандартов семантического веба и хранилищ на их основе.

В этом случае в качестве модели данных используется RDF. В качестве языка запросов для RDF — SPARQL. На основе RDF созданы стандарты описания онтологий, такие как RDFS и OWL. Для работы с RDF применяются специализированные СУБД (RDF-хранилища), наиболее известным из которых является Apache Jena.

Технологии на основе семантического веба доведены до уровня промышленных технологий и используются в большом количестве информационных систем [3]. Однако практика показала, что деление RDF-модели на триплеты оказалось слишком «мелким», в результате этого реляционной базе данных «среднего» размера может соответствовать хранилище, содержащее миллиарды триплетов.

3.2. Применение СУБД на основе классической графовой модели.

Такие СУБД используют в качестве модели модель графа или мультиграфа.

Как наиболее известный пример такой СУБД можно назвать Neo4j. Она применяет классическую графовую модель и снабжена мощным языком графовых запросов.

Проблемой является то, что классическая графовая модель не позволяет моделировать более сложные графовые модели, такие как гиперграфы, гиперсети или метаграфы [4].

3.3. Использование СУБД на основе сложных графовых моделей.

В настоящее время для моделирования сложных систем применяется такой графовый подход, как «графовые модели с эмерджентностью», в этом случае фрагмент графа, состоящий из вершин и связей, может выступать как отдельное целое, которое может иметь собственные связи. К таким моделям относятся в первую очередь гиперсети и метаграфы.

Возможны различные варианты гибридизации при реализации полнотекстового и структурированного хранилища.

1. Гибридизация на уровне модели данных и языка запросов.

В настоящее время появляются системы, в которых полнотекстовое и структурированное хранилища пытаются объединить на уровне модели. В качестве примера такой системы можно назвать ElasticSearch. Это документно-ориентированная СУБД с развитым полнотекстовым поиском. В качестве языка запросов используется декларативный язык на основе модели JSON.

Гибридизация модели данных влечет за собой необходимость гибридизации языковых возможностей, поэтому язык системы ElasticSearch поддерживает как структурированные, так и полнотекстовые запросы.

Это делает ElasticSearch удобной платформой для создания аналитических систем. На ее основе разработана аналитическая система Kibana.

2. Гибридизация на уровне модели представления данных пользователю.

В этом случае текстовые и структурированные данные соединяются при предоставлении пользователю. Типичным при-

мером такой системы можно считать семантические вики, наиболее известная — Semantic MediaWiki. Ее отличительные черты — использование ряда технологий семантического веба.

В этом случае структурированные данные хранятся в виде RDF-триплетов. Вики-разметка содержит расширения, которые позволяют добавлять ссылки на структурированные данные в вики-страницы. В этом случае вики-страницы можно рассматривать как макет отчета, а RDF-триплеты как структурированные данные, которые подставляются в макет отчета.

Преимущество этого подхода заключается в том, что разработчик вики определяет требуемый уровень гибридизации, т. е. баланс между текстовыми и структурированными данными. Основной недостаток — выделение структурированных данных пользователь должен выполнять вручную.

3. Гибридизация на уровне совместного использования моделей данных.

В этом варианте гибридизации сильные стороны «ведущей» модели применяются для восполнения слабых сторон «ведомой» модели. В зависимости от того, какая модель оказывается ведущей, возможны два варианта.

3.1. Ведущей является текстовая модель.

Предполагается, что текст — сложная модель, из которой невозможно извлечь все смыслы в структурированном виде. Поэтому в этом подходе акцент сделан на построение полнотекстовых запросов, которые позволяют найти релевантные тексты. Структурированное хранилище может рассматриваться как хранилище вспомогательных онтологий, которое помогает аналитику при построении запросов, обогащении их синонимами и т. д. В этом случае наиболее полезный вариант структурированного хранилища — графовое хранилище.

3.2. Ведущей является структурированная модель.

В таком случае текст рассматривается как набор «сырых» данных, из которых требуется извлечь некоторую структурированную информацию и поместить ее в структурированное хранилище. При этом из текста извлекаются факты, зависимости между фактами, ситуациями и сущностями.

Для хранения простых данных и фактов может быть использована реляционная модель. Для хранения ситуаций в большей степени подходят графовые модели. При этом наилучшим образом аппроксимируют ситуацию «графовые модели с эмерджентностью».

В данном подходе часть смыслов исходного текста теряется при извлечении, но при этом в структурированное хранилище попадает информация, которая необходима для информационной системы.

Выводы и рекомендации по представленному материалу.

В настоящее время большинство информационных систем, ориентированных на обработку текстовой и структурированной информации, используют гибридное хранилище.

В зависимости от целей создания информационной системы могут применяться различные варианты гибридизации.

Если создается аналитическая система, в которой с одинаковой интенсивностью происходит обращение как к текстовой, так и к структурированной информации, при этом оба вида информации рассматриваются как «сырые» данные, то целесообразно использовать вариант гибридизации на уровне модели данных и языка запросов. В этом случае как текст, так и структурированные данные рассматриваются как равноправные источники фактов. Гибридизация осуществляется на уровне комбинированной модели данных и на уровне языка запросов. Язык запросов объединяет возможности комбинированного обращения к текстовой и структурированной информации в едином запросе. Извлеченные факты являются основой для дальнейшего анализа.

Если создается система, в которой пользователи должны определять баланс между текстовой и структурированной информацией (например, система обеспечения совместной работы, groupware) и при этом важна гибкость предоставления выходной информации, то целесообразно применять вариант гибридизации на уровне модели представления данных пользователю. В этом случае отдельно хранятся полнотекстовые и структурированные данные, но пользователь имеет возможность их комбинации в выходных отчетах, вики-страницах и т. д.

Если разрабатывается система, в которой исходная текстовая информация рассматривается как «сырая» и из нее извлекаются структурированные данные (система класса text mining, web mining), в том числе, возможно, в виде последовательности действий (система класса process mining), то целесообразно использовать вариант гибридизации на уровне совместного применения моделей данных с ведущей структурированной моделью. В этом случае информация из полнотекстового источника преобразуется в структурированную модель с использованием различных алгоритмов выделения структуры.

Если создается специализированная система, где важны не отдельные факты, которые могут быть извлечены из текста, а целостное его представление (например, система анализа художественных произведений), то целесообразно применить вариант гибридизации на уровне совместного использования моделей данных с ведущей текстовой моделью. В этом случае структурированное хранилище может быть использовано как хранилище вспомогательных онтологий для построения запросов.

Несомненно, вопрос корректной гибридизации моделей данных является важным, так как влияет на эффективность работы информационной системы.

Список литературы

1. *Березкин Д.В.* Технология управления разнородными знаниями // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы 2-го международного Поспеловского симпозиума / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. С. 45—53.

2. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Самарев Р.С.* Распределенная ОСУБД ODB-Jupiter 4.0 // Современные информационные технологии : юбилейный сборник трудов кафедры, 20 ноября 2001 г. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. С. 155—158.

3. *Андреев А. М., Березкин Д. В., Рымарь В. С. и др.* Использование технологии Semantic Web в системе поиска несоответствий в текстах документов // 8-я Всерос. науч. конф. RCDL. 2006. URL: http://rcdl.ru/doc/2006/paper_30_v1.pdf.

4. *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.

А. П. Еремеев
Национальный исследовательский университет МЭИ, Москва, Россия
e-mail: eremeev@appmat.ru

РАЗВИТИЕ АППАРАТА ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕМИОТИЧЕСКОГО ТИПА

Введение

Известно, что основатель кибернетики Норберт Винер по образованию и своей профессиональной деятельности был математиком [1], пытавшимся применить математические модели (на основе интегральных и дифференциальных уравнений, теории вероятности, теории информации и др.) к описанию различных физических процессов и (уже в рамках кибернетики) процессов управления в живых и технических системах. Также математическое образование имел и один из основателей советской и российской школы искусственного интеллекта Д. А. Поспелов (окончил мехмат МГУ им. М. В. Ломоносова). Подход на основе использования строгих математических моделей и методов к задачам поиска решений при управлении организационными системами (системами, где существенную роль играет человеческий фактор) весьма привлекателен в силу известных достоинств, в частности наличия конст-

© Еремеев А. П., 2016

руктивных алгоритмов поиска решения (алгоритмов вывода в случае логических моделей), возможности нахождения оптимального решения и т. д.

Однако даже «классические» математики понимали, что при моделировании многих реальных процессов строгие математические модели весьма ограничены. Приведем лишь один пример. Известный математик В. И. Арнольди ввел понятия «жесткие» и «мягкие» математические модели и на ряде примеров показал их существенные различия [2]. В частности, в простейшей модели борьбы двух противников, например армий (модели Ланкастера), состояние моделируемой системы описывается точкой (x,y) положительного квадранта плоскости, где x и y — численность противостоящих армий. Модель имеет вид $dx/dt = -by$, $dy/dt = -ax$, где a — мощность оружия армии x, а b — армии y.

Это *жесткая модель*, которая допускает точное решение:

$$dx/dy = by/ax,\ ax^2 - by^2 = const. \qquad (1)$$

Эволюция численности армий x и y происходит вдоль гиперболы, заданной уравнением (1). По какой именно гиперболе пойдет война, зависит от начальной точки. Отмечается, что данная жесткая модель сильно идеализированная. Более адекватна реальности мягкая модель, когда коэффициенты a и $б$ могут быть не строго постоянными, а, например, зависеть от x и y. Причем точный вид зависимости может быть неизвестен.

Мягкая модель имеет вид $dx/dt = -b(x,y)y$, $dy/dt = -a(x,y)x$, которая уже не решается явно.

Так как задачи искусственного интеллекта (ИИ) относятся, как правило, к классу плохо формализуемых и слабо структурированных задач, характеризующихся различного типа неопределенностью (так называемых НЕ-факторов: неточность, нечеткость, неполнота, противоречивость и т. д.) в имеющейся информации (как данных, так и знаний, в том числе и полученных от экспертов), то Д. А. Поспеловым было предложено перейти от известных формальных моделей (систем) к *семиотическим системам*, для которых множества терминальных символов (алфавит), аксиом, правил синтаксиса и семантики

жестко не фиксированы, а могут изменяться (модифицироваться и пополняться), в зависимости от специфики решаемой задачи и сложившейся ситуации [3; 4].

Современные и перспективные интеллектуальные системы (ИС), в том числе наиболее сложные динамические ИС и ИС реального времени (ИС РВ), конструируются на основе концепции семиотической системы. Отметим, что над данной проблематикой работают многие академические и университетские коллективы России и стран СНГ: ИСА РАН, ИПУ РАН, ВИНИТИ РАН, ИПС РАН (г. Переславль-Залесский), МИФИ, МЭИ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, БФУ им. Иммануила Канта (г. Калининград), ТвГТУ (г. Тверь), ВолгГТУ (г. Волгоград), БГУИР (г. Минск, Республика Беларусь) и другие.

По инициативе Д. А. Поспелова в НИУ МЭИ создана научная группа по исследованию и разработке методов, моделей и инструментальных средств конструирования ИС поддержки принятия решений (ИСППР) семиотического типа, включая ИСППР РВ [5]. Остановимся на некоторых аспектах данной проблематики, связанной с развитием и применением аппарата таблиц решений (ТР). Отметим, что он может быть использован не только при решении основных для ИСППР РВ задач диагностики и мониторинга, планирования (поиска решений), прогнозирования, но и непосредственно в контуре прямого (автоматического) управления на основе встроенных контроллеров (о таком применении будет сказано далее).

1. ИСППР РВ как ИС семиотического типа

ИСППР РВ является системой интегрированного (гибридного) распределенного интеллекта, состоящей из взаимодействующих между собой интеллектуальных блоков (модулей, агентов), выполняющих различные интеллектуальные функции [5]. К числу таких блоков, помимо традиционных для ИС баз данных (БД) и знаний (БЗ), блоков поиска решения, приобретения и накопления знаний, объяснения и т. д., относятся блоки моделирования проблемной ситуации, обучения, прогнозирования, связи с внешними объектами (датчиками, кон-

троллерами, 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 — лицом, принимающим решения, экспертом, инженером знаний, системным администратором). К интеллектуальным относятся функции поиска (вывода) решения на базе 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).

ИСППР *семиотического типа* может быть задана набором

$$SS = <M, R(M), F(M), F(SS)>, \qquad (2)$$

где $M = \{M_1, \ldots, M_n\}$ — множество формальных или логико-лингвистических моделей, реализующих определенные интеллектуальные функции; $R(M)$ — правила выбора необходимой модели или совокупности моделей в текущей ситуации, т. е. правила, реализующие отображение $R(M):S \to M$, S — множество возможных ситуаций (состояний), которое может быть и открытым, или $S' \to M$, где S' — некоторое множество обобщенных ситуаций (состояний), например нормальных (штатных), аномальных или аварийных, при попадании в которые происходит смена модели; $F(M) = \{F(M_1), \ldots, F(M_n)\}$ — множество правил модификации моделей M_i, $i = 1, \ldots, n$. Каждое правило $F(M_i)$ реализует отображение $F(M_i):S'' \times M_i \to M'_i$, где $S'' \subseteq S$, M'_i — некоторая модификация модели M_i; $F(SS)$ — правило модификации собственно системы (2), ее базовых конструкций $M, R(M), F(M)$ и, возможно, самого правила $F(SS)$, т. е. $F(SS)$ реализует ряд отображений (или комплексное отображение) $F(SS)$: $S''' \times M \to M'$, $S''' \times R(M) \to R'(M)$, $S''' \times F(M) \to F'(M)$, $S''' \times F(SS) \to F'(SS)$, где $S''' \subseteq S$, $S''' \cap S' = \varnothing$, $S''' \cap S'' = \varnothing$, т. е. правила модификации данного типа применяются в си-

туациях, когда имеющихся множеств моделей, правил выбора и правил модификации недостаточно для поиска решения. Причем для модификации *F(SS)* могут быть использованы как внутренние средства порождения моделей и правил, так и внешние метазнания (контекст), отражающие прагматический аспект проблемной ситуации. Каждая из моделей системы ориентирована на обработку некоторого («своего») типа неопределенности (НЕ-фактора) или их совокупности. Концепция использования интегрированной (гибридной) среды, включающей разные модели и методы поиска решения в условиях различного рода неопределенностей, реализована в прототипе ИСППР РВ семиотического типа для управления сложными объектами типа энергоблока [5].

2. Расширенные и нечеткие таблицы решений

Аппарат *таблиц решений* (*Decision tables*) довольно известен и зарекомендовал себя как достаточно эффективное средство программирования процессов управления для автоматизированных систем реального времени (см., например: [6—8]). Аппарат классических ТР как средства представления и оперирования продукционными знаниями описан в работах [9,10]. Рассмотрим развитие этого аппарата на расширенные и нечеткие ТР [10—14] в плане их применения в современных и перспективных ИСППР РВ.

Продукционная модель представления знаний о процессе принятия решений (далее будем использовать термин «модель принятия решений» — МПР), способная к адаптации и ориентированная на динамические предметные/ проблемные области (ПО), формально может быть определена набором

$$<A, P, ST, P', ST', R_1, R_2, R_3, F>, \qquad (3)$$

где A — конечный алфавит, используемый для описания состояний или множеств состояний ПО; P — начальное (или текущее) множество продукционных правил, применяемых для преобразования состояний ПО (управляемого объекта); ST — начальное множество стратегий поиска решения; P', ST' —

множества, используемые для пополнения P и ST; R_1 — правила выбора стратегии поиска решения из ST; R_2, R_3 — правила пополнения множеств P и ST; F — правила модификации модели (расширения алфавита, модификации множеств P' и ST', правил выбора и пополнения).

Нетрудно заметить, что МПР (3) удовлетворяет принципу семиотичности. МПР адекватна ПО, или *семантически корректна*, если любое состояние из множества допустимых начальных состояний переводится в состояние из множества целевых состояний и процесс преобразования состояний конечен. Множество продукций, описывающих ПО (процесс принятия решений), совместно с некоторой дополнительной информацией, повышающей эффективность работы интерпретатора (решателя), представляется одной или совокупностью иерархически взаимосвязанных ТР, каждая из которых представляет некоторое подмножество объединенных по смыслу продукций. Обобщенная структура ТР приведена на рисунке.

ТР	Правила (продукции)					Правило «иначе»	Сложность проверки правила/ выполнения условия
Условия		P_1	P_2	...	P_n	E	
	C_1	c_{11}	c_{21}	...	c_{1n}		t_1
	C_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}		t_2
	...	...	...	...	...		...
	C_m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}		t_m
Действия	A_1	a_{11}	a_{21}	...	a_{1n}	$a_{1,n+1}$	q_1
	A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	$a_{2,n+1}$	q_2
	...	...	...	...	...	...	...
	A_k	a_{k1}	a_{k2}	...	a_{kn}	$a_{k,n+1}$	q_k
Частоты применения правил		f_1	f_2	...	f_n	f_E	

Рис. Обобщенная структура ТР

Формально ТР задается набором $<(C, A, C', A'), B>$. Четверка (C, A, C', A') есть традиционное определение ТР, где $C = \{C_i\}$, $i = 1,..,m$, — множество условий или идентификаторов условий, рассматриваемых как координаты векторов описания ситуаций (векторов данных), $A = \{A_r\}$, $r = 1,..,k$, — множество действий или идентификаторов действий, рассматриваемых как координаты векторов действий; $C' = ||c_{ij}||$, $i = 1,..,m$, $j = 1,..,n$, и $A' = ||a_{rj}||$, $r = 1,..,k$, $j = 1,..,n$, или $j = 1,n+1$, — матрицы, задающие соответствие между векторами данных (состояниями) и действий. Условия C_i, формулируемые в виде высказываний или предикатов (например, «параметр H выше нормы» или «$(\forall x)\ (x > 0)$»), могут быть как логически независимыми, так и зависимыми. Выявление и учет логической зависимости условий, характерной для экспертных МПР, необходим для построения семантически корректных моделей.

Таким образом, ТР выступает средством задания соответствия между значениями элементов некоторого конечного множества условий, определяющих состояния ПО, и последовательностями также конечного (квазиконечного) множества действий, определяющих принимаемые решения.

Элементы множеств C, A и матриц C', A' определяют алфавит продукционной модели. Каждой продукции P_j ставится в соответствие *правило решений* $R_j = <C_j', A_j'>$, $j = 1,..,n$, где C_j', A_j' — вектор-столбцы матриц C' и A' соответственно (с целью сокращения числа используемых обозначений далее будем писать P_j и для продукции и для соответствующего правила решений). Для устранения возможной неполноты МПР (т. е. для реагирования на состояния, к которым не применимо ни одно из правил P_j, $j = 1,...,n$), вводится так называемое правило «иначе» $E = <-, A_{n+1}>$ с неопределенной первой компонентой (аналог замыкания нормального алгоритма). Правило E является базовым средством для адаптации МПР как в плане ее пополнения новыми правилами, так и при других модификациях МПР (расширении множеств условий, действий, коррекции правил и т. д.). ТР $T = <(C, A, C', A'), B>$ называется *ТР с*

ограниченным входом (ТРОВ), если допустимы только двузначные условия, и *ТР с расширенным входом* (ТРРВ), если среди условий C_i допустимы многозначные. Для ТРОВ будем считать $C_i'' = \{0, 1\}$. Тогда $c_{ij} = 1$ означает, что условие C_i должно быть выполнено для применимости (активизации) правила P_j, а $c_{ij} = 0$ — что C_i должно быть не выполнено для применимости P_j.

Любая ТРРВ просто преобразуется в эквивалентную по описанию процесса принятия решений ТРОВ (одно многозначное условие C_i представляется минимально $]log_2 l[$ двоичных условий, где $l = |C_i''|$). Справедливо и обратное преобразование. Преимуществом ТРРВ является более компактное описание процесса принятия решений. Однако реализация табличного языка на основе ТРОВ проще, кроме того, их структура более соответствует применяемым для представления знаний в ИС продукционным моделям.

Таким образом, в базовой форме язык ТР дает возможность задавать набор простых продукционных правил $\{R_j\}$, $j = 1,\ldots,m$, на основе пропозициональной логики:

$$\left(R_j\right) \quad C_1 \wedge C_2 \wedge \cdots \wedge C_n \Rightarrow A_1 \wedge A_2 \wedge \cdots \wedge A_k \,.$$

Множества входных термов (условий) $\{C_i\}$ и выходных термов (действий) $\{A_i\}$ общие для всех правил в ТР.

Построим формальное описание *нечетких таблиц решений* (НТР), базирующихся на классических ТР, но способных работать как с дискретными, так и с непрерывными и нечеткими входами и выходами. Идея такой гибридизации появилась в середине 1990-х годов (см., например, [15]), однако в имевшихся публикациях не была четко сформулирована формальная модель НТР, нечеткие входы таблиц рассматривались в отрыве от стандартных дискретных, что не позволяет говорить об эффективном обобщении аппарата ТР на нечеткий случай. Для вывода применялись общие схемы нечетких рассуждений, не использующие особенности НТР для построения более эффективных специализированных алгоритмов вывода.

Определим атрибут как тройку:

$$a_i = \left(Dom_i, Val_i, \phi_i \right) \in A,$$

где $Dom_i = \{d\}$ — множество входных значений (домен) атрибута a_i; $Val_i = \{v_l\}$ — конечное множество выходных значений атрибута a_i; $\phi_i : Dom_i \times Val_i \mapsto [0.0, 1.0]$ — тотальная функция соответствия значений атрибута a_i, оценивающая степень истинности соответствия $\phi_i(d, v_l)$ выходного значения $v_l \in Val_i$ элементу домена $d \in Dom_i$; $A = \{a_i\}$ — множество всех атрибутов указанной структуры.

В рамках этой общей структуры можно выделить несколько базовых классов атрибутов: булевы; *N*-значные дискретные; вещественные; нечеткие. Эти подклассы получаются из общего определения атрибута наложением ограничений на его компоненты.

Введем дополнительные понятия:

— входным вектором (ситуацией), принадлежащим множеству возможных ситуаций $Dom_C(FDT) = \prod_{c_i \in C} Dom(c_i)$, называется вектор $\bar{\mathbf{x}} = (x_i) \in \prod_{c_i \in C} Dom(c_i)$;

— выходным вектором (решением), принадлежащим множеству решений $Dom_D(FDT) = \prod_{d_i \in D} Dom(d_i)$, называется вектор $\bar{\mathbf{y}} = (y_i) \in \prod_{d_i \in D} Dom(d_i)$.

Тогда процесс принятия решений можно представить как отображение входных ситуаций на решения посредством НТР:

$$\bar{x} \xrightarrow{FDT} \bar{y}, \quad \bar{x} \in Dom_C(FDT), \bar{y} \in Dom_D(FDT).$$

Знания, представленные в виде функции F, могут быть заданы и в виде набора продукционных правил специального вида: IF $\bigwedge_{c_i \in C}\left(c_i \text{ is } v_{C,i}\right)$ THEN $\bigwedge_{d_i \in C}\left(d_i \text{ is } v_{D,i}\right)$ с коэффициентом уверенности $cf \in (0{,}0;\ 1{,}0]$.

В антецеденте и консеквенте правила записываются как нечеткие конъюнкции оценок значений атрибутов НТР, а само правило является не достоверным, а правдоподобным с определенным (вычисляемым или задаваемым экспертом) коэффициентом уверенности (при $cf = 1$ правило является достоверным).

Как и в классических ТР, такие правила могут быть представлены в табличном виде, где решающие правила записываются в столбцах, а строки таблицы соответствуют условным и решающим атрибутам НТР. Во входах условной части НТР применяется символ безразличия «*», если значение условного атрибута несущественно в правиле. В последней строке таблицы записываются коэффициенты уверенности правил. Отметим, что классические ТР — это частный случай НТР, например, в ТРОВ используются только булевы атрибуты, а коэффициенты уверенности всех правил полагаются равными 1.0.

Для принятия решений на основе НТР построен алгоритм [12], базирующийся на известных схемах вывода для нечетких баз правил и применяющий также дерево активации, которое дает возможность ускорить процесс отбора активных правил и сделать процесс вывода более эффективным. Аналогично классическим ТР для НТР введены критерии полноты и непротиворечивости правил и построены алгоритмы анализа и оптимизации НТР, позволяющие создавать верифицируемые табличные МПР.

В работе [13] рассмотрено применение аппарата НТР в составе ИС РВ для задачи диспетчеризации лотов на производстве полупроводниковых компонент, для решения которой был программно реализован нечеткий контроллер. Исследования выполнялись кафедрой прикладной математики МЭИ со-

вместно с факультетом информатики Дрезденского технического университета. Базовые программные средства на основе аппарата расширенных ТР как компонента ИСППР РВ описаны в [14].

Заключение

В настоящее время описанный аппарат используется на кафедре прикладной математики НИУ МЭИ в научно-исследовательских работах по тематике создания методов, моделей и базовых интегрированных инструментальных средств для конструирования перспективных ИСППР РВ.

Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ (проекты 14-01-00427) и в рамках НИР Т 2.737.2014/К проектной части государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. *Винер Н.* Я — математик. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.

2. *Арнольд В.И.* «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М. : МЦНМО, 2013.

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

4. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.

5. *Вагин В.Н., Еремеев А.П.* Научная школа искусственного интеллекта в Московском энергетическом институте на базе кафедры прикладной математики: становление и результаты // Вестник МЭИ. 2015. №1. С. 29—37.

6. *Pollack S.L., Hicks H.T. Jr., Harrison W.J.* Decision tables: Theory and practice. Wiley Interscience, 1974.

7. *Хамби Э.* Программирование таблиц решений. М. : Мир, 1974.

8. *Montalbano L.* Decision tables. Science Research Ass. Inc., 1974.

9. *Еремеев А.П.* Некоторые формальные построения на таблицах решений // Программирование. 1978. №4. С. 16—22.

10. *Еремеев А.П.* О корректности продукционной модели принятия решений на основе таблиц решений // Автоматика и телемеханика. 2001. №10. С. 78—90.

11. *Еремеев А.П., Виноградов О.В.* Использование таблиц решений с расширенным входом в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // 10-я нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2006 : тр. конф. : в 3 т. М. : Физматлит, 2006. Т. 3. С. 807—815.

12. *Виноградов О.В., Еремеев А.П.* Адаптация нечеткого вывода к аппарату нечетких таблиц решений // 11-я нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием (КИИ-2008) : тр. конф. М. : ЛЕНАНД, 2008. Т. 2. С. 330—338.

13. *Еремеев А.П., Виноградов О.В.* Методы и программные средства на основе нечетких таблиц решений для диспетчеризации лотов на полупроводниковом производстве // Вестник МЭИ. 2009. №2. С. 166—174.

14. *Виноградов О.В., Еремеев А.П.* Современные программные средства поддержки принятия решений на основе таблиц решений // Интеллектуальные системы : коллективная монография / под ред. В.М. Курейчика. М. : Физматлит, 2009. Вып. 3. С. 140—154.

15. *Chen G., Vanthienen J., Wets G.* Fuzzy decision tables: extending the classical formalism to enhance intelligent decision making // Proc. of the Fourth IEEE International Conf. on Fuzzy Systems. 1995. Vol. 2. P. 599—606.

В.Б. Звонков
Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева
Красноярск, Россия
e-mail: vladimirzvonkov802@yandex.ru

НЕЙРОЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Введение

Задачи макроэкомического анализа являются актуальными, так как в их решении задействованы ведущие специалисты предприятий, государственных учреждений, государственные служащие, ученые, аспиранты [1—7] и т. д.

© Звонков В.Б., 2016

Например, Л. Н. Красавина в [4] проводит всесторонний анализ проблем развития международных валютных отношений на основе системного анализа: рассматриваются тенденции валютной глобализации вширь и вглубь, валютный полицентризм, тенденция интернационализации национальных валют, обсуждается история и причины возникновения таких мировых резервных валют первого эшелона, как доллар США и евро, а также причины и факторы появления валют второго эшелона — фунта стерлингов и иены (в зависимости от экономических показателей стран, их вводящих). Рассмотрена тенденция интернационализации юаня, валютная регионализация и ее отличие от процесса глобализации, а также международные валютные единицы, наднациональные валюты, золото как реальный резервный актив для погашения долгов в случае экстренных экономических ситуаций и другие исторически значимые и фундаментальные вопросы.

А. И. Бажан в [1] анализирует причины того, почему рубль на сегодня не является мировой валютой и необходимые условия для признания рубля РФ мировой резервной валютой на международных рынках. Отмечена положительная тенденция в виде увеличения использования рубля РФ в расчетах на рынке Forex. В ходе дискуссии на заседании круглого стола в рамках конференции высказывались различные мнения ученых по данному вопросу.

Автор статьи принял участие в международной школе-семинаре по искусственному интеллекту (Тверь — Протасово 1—5 июля 2015 г.), где выступил с докладом и прошел программу ISyT-2015 [6]. На семинаре были представлены актуальные пленарные и секционные доклады, проведены мастер-классы и круглые столы по различной тематике, а именно: моделирование поведения и игры роботов, оптимизация, генерация случайных чисел, кооперативное поведение и альянсы, модели генетических алгоритмов, искусственных нейронных сетей и экспертных систем, экономические вопросы и многие другие. В тезисах [8] описаны восемь различных докладов в рамках школы-семинара ISyT-2015. Также автор уча-

ствовал в конференции СибГАУ «Решетневские чтения» [8]. В ходе работы секций 12 и 13 обсуждались вопросы из области искусственного интеллекта, робототехники, мировой экономики и т. д. Обширную научную дискуссию вызвали мои доклады [5; 6; 8]. В работе [3] автор описывает своих торговых роботов, совершающих много операций по купле-продаже акций на бирже за короткие временные промежутки на основании движения цены. Алгоритмическим инструментарием выступают параллельные генетические алгоритмы, оптимизированные для работы не только с CPU, но и с графическими процессорами NVIDIA на фондовом рынке акций. Генетический алгоритм ведет поиск оптимальных параметров торговых стратегий и индикаторов для максимизации показателей доходности (целевая функция). Е. В. Дорохов в работе [2] исследовал и спрогнозировал индексы ММВБ и РТС, всесторонне проанализировал рынок и деятельность трейдеров.

Анализ временных рядов и сигналов актуален не только в технической сфере, но и в медицинской науке: в Твери — Протасово в 2015 году были представлены доклады по распознаванию эмоций, оценке вычислительной деятельности обучаемого и когнитивных функций по данным ЭЭГ сигналов, в Светлогорске в 2014 году был сделан доклад «Функциональная гибридная интеллектуальная система диагностики артериальной гипертензии» (экспертная нечеткая система автоматически опрашивает пациента и ставит правильный диагноз в 92 % случаев по 10 классам заболеваний), в Светлогорске в 2015 году — «Системный анализ в решении сложных диагностических задач» (исследования коллективов ученых).

1. Постановка задачи

Пусть имеются исторические значения курсов евро и доллара США в дискретные моменты времени, взятые с официального сайта ЦБ России [9] или с сайта «Форекс» (выборка из генеральной совокупности, так как значения курсов на реаль-

ном рынке меняются каждую минуту или секунду в зависимости от происходящих политических и экономических событий на рынке, ожиданий инвесторов, действий спекулянтов, открытия или закрытия позиций крупных игроков), а также характеристика фундаментальной составляющей мировой ситуации — вектор входных переменных задачи. Необходимо по имеющимся входным переменным спрогнозировать значения курсов евро и доллара США в следующие будущие дискретные моменты времени.

Первоначально искусственные нейронные сети проверяются на тестовой задаче: прогнозируются известные значения валютных курсов, которые неизвестны алгоритму прогнозирования, а используются для проверки корректности функционирования алгоритма (вычисления среднеквадратической, относительной ошибок прогнозирования в евклидовой метрике, относительного количества в шкале от 0 до 100% правильного прогнозирования повышения или понижения курса в дискретные моменты времени). Далее прогнозируются неизвестные значения курсов в будущие моменты времени, которые можно будет проверить только при наступлении этих моментов времени.

Рассмотрим формализованную математическую постановку задачи и структурную схему SADT-моделирования и RUP-моделирования бизнес-процессов, с точки зрения автора статьи (рис. 1).

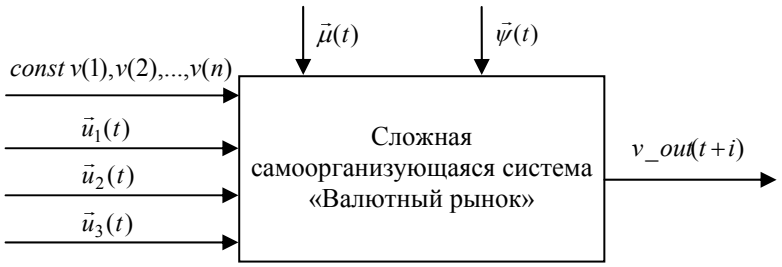


Рис. 1. Структурная схема SADT или RUP-моделирования

$v(1), v(2), ..., v(n)$ — вектор значений известных курсов валют в исторические периоды времени — часть входного вектора параметров (массив констант).

$\vec{u}_1(t), \vec{u}_2(t), \vec{u}_3(t)$ — векторы входных параметров — управляемые измеряемые (с помощью механизмов нечеткой логики), характеризующие фундаментальную составляющую мировой ситуации на валютных рынках, политическую ситуацию в различных странах (на основе рейтингов глав государств и высокопоставленных чиновников), высказывания политиков и глав государств в ходе официальных выступлений (пример рассмотрен в таблице 2 в [5]).

Здесь $\vec{u}_1(t) = (u_1^0(t),\ u_1^1(t),\ u_1^2(t), ..., u_1^{28}(t),\ u_1^{29}(t),\ u_1^{30}(t), ..., u_1^{50}(t))$, $u_1^0(t)$ — обстановка в России, $u_1^1(t)$ — обстановка в Австрии, $u_1^2(t)$ — обстановка в Бельгии, $u_1^{28}(t)$ — обстановка в 28-й стране Евросоюза — Эстонии, $u_1^{29}(t)$ — обстановка на Украине, $u_1^{30}(t)$ — обстановка в США, $u_1^{50}(t)$ — обстановка в последней из крупнейших стран мира, $\vec{\mu}(t)$ — действия зарубежных конкурентов, партнеров (шумовая переменная), $\vec{\psi}(t)$ — высказывания зарубежных конкурентов, партнеров (шумовая переменная), $v_out(t+i)$ — будущие неизвестные значения валютного курса (окно прогнозирования), т. е. выходная переменная задачи (скаляр).

N характеризует количество шагов или дискретных моментов времени, на которое осуществляется экстраполяция (окно прогнозирования), по достижении которого входные переменные задачи $v(1), v(2), ..., v(n)$ сдвигаются на N значений вправо, т. е. окно прогнозирования становится частью вектора входных переменных, а затем далее можно осуществлять прогнозирование по той же схеме.

$$\begin{cases} v_out(t+i) = Function(v, \vec{u}_1(t), \vec{u}_2(t), \vec{u}_3(t), \vec{\mu}(t), \vec{\psi}(t)) \\ 1 \le i \le N \end{cases}$$ — суть задачи прогнозирования.

Задача построения функциональной зависимости выходной переменной-скаляра от вектора входных переменных

представляет собой суть задачи прогнозирования. Только в случае с искусственными нейронными сетями работа производится с непараметрическим построением этой зависимости (работа с ИНС в виде черного ящика). Результирующая формула нейросетей громоздкая и неудобная в практическом применении. В связи с этим входные параметры задачи загружались в текстовый файл в заданном формате и считывались в автоматическом режиме программы с помощью цикла построчно. Подробное описание алгоритмов программной системы автора имеется в публикации [10], а также на сайтах [11; 12].

Для проверки правильности и корректности функционирования алгоритмов разработанных программных систем проводилось сравнение с результатами, полученными в системах Deductor Studio Academic, Rapid Miner, Statistica, MathCAD. Генетический алгоритм первоначально был протестирован на задачах оптимизации из научных отчетов [13; 14].

Аппаратно-математическая часть (разработанное автором ПО, методика эксперимента, конфигурации вычислительных систем) описана в [6; 7].

2. Результаты трендового анализа и прогнозирования

Настройки ИНС Ф. Розенблатта для первоначального построения регрессионной модели (для доллара США период от 01.07.1992 до 01.01.2015 [9], для евро — от 01.01.1999 до 01.01.2015 [9]) для последующего прогнозирования: обучение методом обратного распространения ошибки, самоорганизующимся ГА. Общие настройки: 20 нейронов на 20 слоях, разделение имеющейся выборки на обучающую и экзаменующую случайным образом в соотношении 90 и 10 % соответственно. Алгоритм обратного распространения ошибки: скорость обучения — 0,3, момент инерции — 0,2, число эпох — 2000. Самоорганизующийся ГА: набор из 15 активационных функций кодируется в бинарные строки, автоматический выбор методов, настройка параметров. Выборка официальных курсов евро не нормализовалась, выборка доллара США была нормализована до подачи на ИНС (меньше ошибка решения задачи из-за разброса курсов доллара США в тысячи раз

вследствие дефолта 1998 года). Численные критерии эффективности решения задач приведены в таблице 1, а графики — на рисунках 2, 3.

Таблица 1

Численные результаты решения поставленных задач

Тип алгоритма обучения ИНС	Относительная ошибка для задачи регрессии (мат. ожидание, доверит. интервал)		Относительная ошибка для задачи экстраполяции (мат. ожидание, доверит. интервал)	
	евро/рубль	доллар США/рубль	евро/рубль	доллар США/рубль
Обратное распространение ошибки, ручная настройка параметров	4,354 % [1,5; 7,2]	5,353 % [0,937; 9,769]	2,106 % [0,935; 3,277]	2,527 % [1,062; 3,992]
Обратное распространеие ошибки, настройка скорости обучения, момента инерции самоорганизующимся ГА	2,189 % [0,642 %, 3,736 %] Скорость — 0,47 Момент инерции — 0,57	5,139 % [1,349; 8,929]	2,001 % [0,836; 3,166]	2,622 % [1,095; 4,149]
Самоорганизующийся ГА	0,4 % [0,1 %; 0,7 %]	1,054 % [0,703; 1,405]	0,8 % [0,2 %; 1,4 %]	1,08 % [0,5 %; 1,66 %]

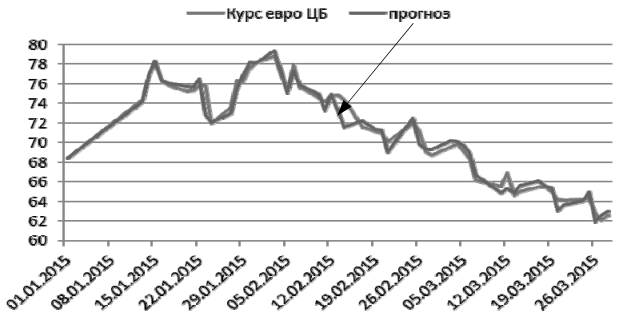


Рис. 2. Графическое представление прогноза курса евро/рубль (прогноз — оценка математического ожидания)

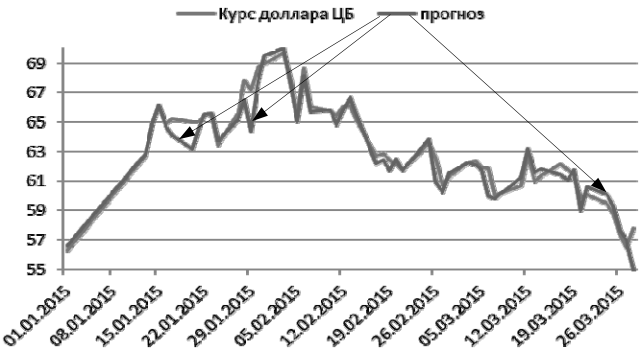


Рис. 3. Графическое представление прогноза курса доллар США/рубль (прогноз — оценка математического ожидания)

В таблице 2 приведены результаты сравнительного анализа производительности процессоров ПК, использовавшихся для исследований (с заводскими параметрами и настройками автора параметров BIOSa), в программе SiSoftware Sandra. Здесь: 1 — Acer Extensa 5620, 2 — ЦП Athlon64-2800+ 2,2 ГГц, 3 — Asus X501A, 4 — ЦП Corei7-920 2,66 ГГц, 2 ядра включены, 5 — ЦП Corei7-920 2,66 ГГц, 4 ядра включены, 6 — ЦП Corei7-920 2,66 ГГц, 8 потоков, 7 — ЦП Corei7-920 3,56 ГГц, 8 потоков, 8 — ЦП Corei7-920 4,5 ГГц, 8 потоков.

Таблица 2

Арифметические тесты производительности ЦП

Количество операций в секунду	N ПК							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ГФЛОПС	3,2	7,8	14,43	20,13	40,13	63,28	84,41	107,05
ГИПС	н/д	н/д	28	28,53	56,91	70,8	94,65	119,77

Заключение

Авторские самоорганизующиеся алгоритмы (комитеты из 16 лучших ИНС, проектируемые и настраиваемые самоорганизующимся ГА) и учитывающие фундаментальные факторы [5; 7] продемонстрировали высокую точность прогнозирования евро и доллара США. В работе [5] был проведен трендовый анализ, сглаживание временных рядов, построение общего тренда, подсчет волатильности временных рядов, анализ фундаментальных факторов и экстраполяция на 3 месяца полиномиальным трендом. В [7] построен более точный прогноз с использованием сложных нейросетевых и эволюционных моделей. В марте 2015 года автор статьи рассчитал прогноз, что рубль РФ будет укрепляться относительно евро в 2015 году. Прогноз подтвердился. Ошибка решения задачи регрессии немного выше из-за сложности задач: многолетняя история курсов валют, высокая волатильность [5; 7]. Результаты прогнозирования на различных аппаратных комплексах статистически не различимы, отличается в несколько раз время для расчета алгоритмов при переходе от одного ПК к другому. SSD более не является ограничивающим производительность фактором при записи файла отчета в сравнении с HDD, производительность определяется в большей степени ЦП, ОЗУ, системной платой, что подтвердилось методом главных компонент. Наблюдалась стабильность работы контроллера Marvell SSD.

Список литературы

1. *Бажан А.И.* Российский рубль — мировая резервная валюта? // Деньги и кредит. 2008. №7. С. 57—62.

2. *Дорохов Е.В.* О результатах применения нейросетевых методов для анализа развития фондового рынка России // Финансы и бизнес. 2008. №2. С. 77—93.

3. *Монахов О.Г.* Параллельные генетические алгоритмы при поиске оптимальных финансовых стратегий на графических процессорах // Доклады пятой международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления». М. : PACO, 2010. С. 323—328.

4. *Красавина Л.Н.* Тенденции развития международных валютных отношений в условиях глобализации мировой экономики // Деньги и кредит. 2011. №11. С. 13—21.

5. *Звонков В.Б.* О сложностях и механизмах прогнозирования евро // Шестая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 : тр. конф. Калининград, 2015. Т. 2. С. 294—306.

6. *Звонков В.Б.* Прогнозирование евро и доллара США самоорганизующимися алгоритмами на аппаратно-программных комплексах // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы : сб. науч. тр. III Междунар. летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Тверь — Протасово, 1—5 июля 2015 г.). Тверь : Изд-во Тверского государственного технического университета, 2015. С. 135—144.

7. *Zvonkov V.B.* Modified intelligent algorithms committees for optimization and time series forecasting // Collection of scientific papers of International conference “Interactive systems: Problems of Human — Computer Interaction”. Ulyanovsk: Publishing house of USTU, 2015. P. 271—283.

8. *Звонков В.Б.* Интеллектуальные системы и технологии // Решетневские чтения : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 55-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева (10—14 ноября 2015, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2015. Ч. 2. С. 40—42.

9. *Официальный* сайт Центрального Банка Российской Федерации. URL: http://www.cbr.ru.

10. *Звонков В.Б.* Описание алгоритмов автоматизированной нейроэволюционной экспертной системы // Современные технологии, естествознание, педагогика — СТЕПь-2013 : сб. тр. II Всерос. науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Элиста : Изд-во Южного федерального университета, 2013. С. 68—83.

11. *Сайт* конференций, проводимых ежегодно Южным федеральным университетом. URL: http://www.itsau.ru/Content/ downloads/ SBORNIK_2013_STEP.pdf.

12. *Сайт* Российской ассоциации искусственного интеллекта. URL: http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2012/doclad/Zvonkov.pdf.

13. *Hansen N., Finck S., Ros R. et al.* Real-Parameter Black-Box Optimization Benchmarking 2009: Noiseless Functions Definitions. Theme COG — Systemes cognitifs. Equipes-Projets Adaptive Combinatorial Search et TAO, Rapport de recherche n° 6829. February 2009.

14. *Suganthan P.N., Hansen N., Liang J. J. et al.* Problem Definitions and Evaluation Criteria for the CEC 2005 Special Session on Real-Parameter Optimization. Technical Report, Nanyang Technological University, Singapore And KanGAL Report Number 2005005 (Kanpur Genetic Algorithms Laboratory, IIT Kanpur), May 2005.

И.А. Кириков[1], Е.В. Петренко[2], С.Б. Румовская[3], К.В. Суворов[4]
[1,3]КФ ФИЦ ИУ РАН, [2,4]БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия
e-mail: [1]baltbipiran@mail.ru, [2]petrenkoe@hotmail.com,
[3]sophiyabr@gmail.com, [4]kest93suvorov@mail.ru

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Введение

Человек постоянно сталкивается с необходимостью принимать различного рода решения. Отсутствие определенных компетенций в предметной области принятия решений и целесообразность выработки оптимального решения в ограниченный промежуток времени обусловливают необходимость применять сторонние знания.

Последние 30 лет развития новых информационно-коммуникационных технологий и повсеместная компьютеризация способствовали созданию различных искусственных гетерогенных систем (ИГС), позволяющих решать сложные задачи в разных предметных областях. Сформировались следующие основные направления развития ИГС: многоагентные (МАС), гибридные и синергетические. В рамках существующих направлений используется только имитация логико-математического интеллекта человека без применения визуально-пространственных рассуждений, а именно сочетание этих двух компонентов, по мнению экспертов, релевантно феномену человеческого мышления.

© Кириков И.А., Петренко Е.В., Румовская С.Б., Суворов К.В., 2016

Возможным решением данной проблемы являются исследования научной школы А. В. Колесникова по созданию нового класса интеллектуальных систем — функциональных гибридных интеллектуальных систем с гетерогенным визуальным полем [1]. А. В. Колесников ввел понятие виртуальных гетерогенных коллективов (ВГК) для обозначения моделей-артефактов, интегрирующих разнородные знания экспертов и способных имитировать как отдельные линии рассуждений, так и комбинирование частных мнений в общее решение. Предложена концептуальная модель ВГК [1], отличительная особенность которой — наличие интерфейса корректировки процесса рассуждений системы реальным экспертом.

В статье дается обзор современных тенденций развития ИГС и сравнительные характеристики систем, основанных на разных подходах к созданию ИГС.

1. Многоагентные искусственные гетерогенные системы

Технология искусственных агентов и многоагентных систем — одна из наиболее многообещающих в области развития искусственного интеллекта (ИИ). Ключевое понятие в данной технологии — «интеллектуальный агент», или «искусственный агент» [2], который понимается как метаобъект, способный манипулировать другими объектами, создавать и уничтожать их, а также имеющий развитые средства взаимодействия со средой и себе подобными. Агенты вступают во взаимодействие друг с другом (вступают в диалог) различной степени сложности по определенным протоколам ведения переговоров. В процессе взаимодействия агентов система изменяет свое состояние и стремится к достижению поставленной цели.

Сегодня магистральными направлениями развития МАС являются распределенный искусственный интеллект (РИИ) и искусственная жизнь [3]. Направление РИИ занимается разработкой интеллектуальных групп и организаций, способных решать задачи путем рассуждений. В данном направлении предпочтение отдается системам с небольшим числом когнитивных интеллектуальных агентов, отличающихся развитой

внутренней моделью внешнего мира, сложными и рефлексивными рассуждениями и развитой системой мотивации. Направление «искусственная жизнь» связано с изучением интеллектуального поведения агентов в контексте выживания, адаптации и самоорганизации в динамичной, враждебной среде, например системы Alvinn, DART, HipNav.

Alvinn [4] — система компьютерного зрения, обученная вождению автомобиля, которую разработал Дин Померло (Dean Pomerleau) в Университете Карнеги-Меллон. Этой системой в совокупности с набором видеокамер был оборудован микроавтобус, который совершил поездку от одного побережья США до другого (4586 км). Человек управлял им только на самых сложных участках дороги (около 80 км). Система содержит нейронную сеть, позволяющую ей обучаться и находить оптимальные направления движения.

DART (Dynamic Analysis and Replanning) [5] — система автоматизированного планирования поставок и составления графиков перевозок, использованная армией США во время кризиса в Персидском заливе в 1991 году. Работа этой системы охватывала одновременно до 50 тыс. автомобилей, единиц груза и людей. Система учитывала пункты отправления и назначения, маршруты, а также устраняла конфликты между всеми параметрами.

HipNav [6] — медицинский робот-ассистент, помогающий осуществлять протезирование тазобедренных суставов. Включает технологии компьютерного зрения, трехмерного моделирования и робототехнического управления.

2. Искусственные гетерогенные системы в гибридных интеллектуальных системах

Под гибридной интеллектуальной системой (ГиИС) принято понимать систему, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [7]. ГиИС является актуальным направлением развития интеллектуальных систем и искусственного интеллекта, позволяющим решать сложные практические задачи путем интеграции узкопрофессиональных знаний и ком-

бинирования различных мнений. Метод гибридизации позволяет синтезировать модели СППР, превосходящие по эффективности модели, основанные на единственном методе имитации интеллектуальной деятельности. Ниже рассмотрены некоторые примеры ГиИС.

Гибридная экспертная система для анестезиологии тяжелых пациентов [8]. Состоит из 10 нейронных сетей, интегрированных в управляющую оболочку экспертной системы. Таким образом соединяются формализуемые знания (экспертная система) и неформализуемые знания (нейронные сети).

Гибридная экспертная система для медицинской диагностики [9]. Состоит из нечеткой нейронной сети, нечеткой экспертной системы и модуля принятия и объяснения решений. Сочетает в себе численное и лингвистическое представление знаний, в системе используется иерархическая интеграция самоорганизующейся нечеткой нейронной сети и нечеткой экспертной системы, оптимизированной посредством генетического алгоритма.

Гибридная экспертная система RAISON [10; 11] — интегрированная, основанная на знаниях, экспертная система, включающая нейронную сеть, базу данных, геоинформационную систему, картографический анализатор, графическую и программно-языковую компоненты. Экспертная система, основанная на алгоритме с применением индукционного дерева (генерирование правил на основе образцов наборов данных), является интегрирующим модулем гибридной системы. Нейронная сеть используется как элемент обучения.

Гибридная интеллектуальная система для создания планов движения роботов [10; 12]. Состоит из объектно-ориентированной базы знаний для моделирования окружающей среды и адаптивного алгоритма планирования движения. Включает в себя четыре модуля: планировщик, помощники, исполнители движений и управляющий центр. В системе реализована архитектура с применением управляющего центра, который координирует работу модулей.

Гибридная экспертная система для инвестиционных рекомендаций [13]. Состоит из нейронной сети и экспертной системы. Нейронная сеть позволяет выявлять тенденции изменения процентных ставок, которые становятся входной информацией для экспертной системы, формирующей подходящую инвестиционную стратегию.

Гибридная экспертная система для определения неисправностей в энергетических системах [14] — включает модуль входного условия и модуль вывода, предназначенный для оценки местонахождения и типа неисправности с помощью искусственной нейронной сети (многослойного персептрона). Особенностью системы является использование предусловия, т. е. входной вектор подается не непосредственно на вход нейронной сети, а на вход предусловного модуля.

3. Искусственные гетерогенные системы — синергетические интеллектуальные системы

Синергетические интеллектуальные системы (СИС) характеризуются наличием механизма самоорганизации. Под самоорганизацией понимается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности. В естественных и социальных науках часто встречается хаотичная неуправляемая самоорганизация. Исследования в области СИС проводятся для достижения целевой самоорганизации синтезируемых систем. Это позволяет системам развиваться в оптимальном направлении для достижения поставленной задачи.

Например, виртуальный круглый стол для транспортной логистики [1]. Идея состоит в сотрудничестве технологии функциональных гибридных интеллектуальных систем, релевантных неоднородности сложной транспортно-логистической задачи, а также многоагентного подхода для моделирования самоорганизации на основе анализа согласованности целей экспертов в новом классе интеллектуальных информационных систем — гибридных интеллектуальных многоагентных системах (ГиИМАС). Здесь моделируется коллективная работа горизонтальных структур крупных транспортно-логистиче-

ских и транспортно-экспедиционных компаний. Под управлением менеджера по логистике (ЛПР, логист) в обсуждении и принятии решений могут участвовать руководители служб хранения, подготовки отгрузок, контроля, экспедиторской, грузовой, транспортной, диспетчерской и претензионной.

4. Сравнительные анализ искусственных гетерогенных систем и виртуальные гетерогенные коллективы

В таблице сведен анализ существующих ИГС, а также ВГК с позиции используемого подхода к созданию системы, универсальности, эффективности поддержки принятия коллективных решений, сложности решаемых задач.

Сравнительные характеристики искусственных гетерогенных систем

Примеры искусственных гетерогенных систем	Подход	Универсальность	Эффективность	Сложность задачи
Alvinn	МАС	Низкая	Высокая	Высокая
DART	МАС	Низкая	Средняя	Высокая
HipNav	МАС	Низкая	Средняя	Высокая
Гибридная экспертная система для медицинской диагностики	ГиИС, СИС	Низкая	Средняя	Высокая
Гибридная экспертная система RAISON	ГиИС	Низкая	Средняя	Средняя
Гибридная экспертная система для инвестиционных рекомендаций	ГиИС	Низкая	Средняя	Низкая
Гибридная интеллектуальная система для создания планов движения роботов	ГиИС	Низкая	Средняя	Низкая
Гибридная экспертная система для определения неисправностей в энергетических системах	ГиИС	Низкая	Средняя	Средняя
Виртуальный круглый стол для транспортной логистики	ГиИМАС	Средняя	Высокая	Высокая
Виртуальные гетерогенные коллективы	ИГС+ СППГР	Высокая	Высокая	Высокая

И именно сочетание языковой и визуальной коммуникации при работе над проблемами релевантно феномену человеческого мышления. В результате возникает необходимость создания нового класса интеллектуальных информационных систем — виртуальных гетерогенных коллективов, объединяющих в себе методы организации заочного взаимодействия экспертов в СППГР с визуальным гетерогенным полем, и способные динамически синтезировать интегрированную модель и метод над гетерогенным модельным и визуальным полями и имитировать сотрудничество, относительность и дополнительность коллективного интеллекта для поиска решений на символьных и визуальных языках.

Заключение

Анализ показал, что ИГС, созданные с применением подходов многоагентных, гибридных и синергетических систем, эффективно справляются с задачами с относительно высокой степенью формализации предметной области. Возможность адаптации таких систем для решения других классов задач практически отсутствует. Системы, построенные с использованием подходов ВГК, позволяют эффективно решать сложные задачи путем имитации творческой работы коллектива. Принцип применения «аватар» в ВГК, даст возможность решать разные классы задач путем подбора подходящего коллектива для конкретной задачи, что делает данный подход более гибким и универсальным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В. и др.* Виртуальные гетерогенные коллективы, поддерживающие принятие решений // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, №3 С. 126—149.

2. *Колесников А.В., Солдатов С.А.* Моделирование коллективного интеллекта, решающего сложную задачу планирования на машиностроительном предприятии // В мире научных открытий. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2011. №12. С. 172—181.

3. *Тарасов В.Б.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта. 1998. №2. С. 5—63.

4. *Pomerleau D.A.* ALVINN: An Autonomous Land Vehicle In a Neural Network // Advances in Neural Information Processing Systems. Vol. 1. San Francisco, CA : Morgan Kaufmann, 1989. P. 305—313.

5. *Comello J.J., Lopez A.M., Cleckner W.H.* Machines, the Military, and Strategic Thought // Military Review. 2004. P. 77.

6. *DiGioia A.M. III, Labarca R.S., Moody J.E., Colgan B.D.* Surgical navigation for total hip replacement with the use of HipNav // Operative Techniques in Orthopaedics. 2000. P. 3—8.

7. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы: решение сложных практических задач в автоматизированном режиме // Известия КГТУ. 2006. №10. С. 65—77.

8. *Passold F., Ojeda R.G., Barreto J.M.* A hybrid expert system in anesthesiology for critical patients // IEEE. 1996. P. 1486—1489.

9. *Meesad P., Yen G.* A hybrid intelligent system for medical diagnosis // Proc. of IJCNN'01. Washington. 2001. P. 2558—2563.

10. *Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В.* Гибридные интеллектуальные системы // Международная конференция ИСТ-2003 «Информационные системы и технологии». Новосибирск : НГТУ, 2003. Т. 3. С. 116—121.

11. *Lam D., Swayne D.* A hybrid expert system and neural network approach for environmental application // Proc. of ICESD. Bangkok, 1994. P. 298—303.

12. *Luo R.C., Lin M.H., Shen Sh.H.* The development of object-oriented knowledge base and adaptive motion planning for autonomous mobile robots // Proc. of the 2001 IEEE/RSJ ICIRS. Maui. 2001. P. 108—113.

13. *Nikolopoulos C.* A hybrid expert system for investment advising // IEEE. 1994. P. 1818—1820.

14. *Mori H. et al.* A hybrid intelligent system for fault detection in power systems // Proc. of IEEE IJCNN. Honolulu, 2002. Vol. 2. P. 2138—2143.

А.В. Колесников[1], С.В. Листопад[2], В.И. Данишевский[3], К.В. Суворов[4]
[1,2,3,4] 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]danishevskii. v.i@mail. ru, [4]kest93suvorov@mail. ru

ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР) как направление исследований оформилось в конце прошлого века. Исследованиями в области СППР занимались такие ученые, как О.И. Ларичев, А.Б. Петровский, Э.А. Трахтенгерц, А.Н. Борисов, Г.С. Осипов, В.Н. Вагин, А.П. Еремеев, А.В. Колесников, А.Н. Райков, С.В. Корнеев и другие. СППР широко применяются во всех сферах человеческой деятельности, обозначились классы СППР, обладающие специфическими характеристиками, выделяющими их среди прочих систем. Один из таких классов — интеллектуальные СППР, использующие один или несколько методов искусственного интеллекта при подготовке и оценке альтернатив для лица, принимающего решений (ЛПР). Такие системы позволяют не только обрабатывать и анализировать информацию методами объективного характера, но и моделировать субъективные знания и опыт экспертов.

Применение нескольких методов искусственного интеллекта в составе гибридной интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ГиИСППР) дает возможность ей моделировать совместную работу нескольких экспертов, обладающих различными моделями внешнего мира. ГиИСППР, моделируя взаимодействие реальных экспертов и возникающие при этом коллективные процессы и эффекты, такие как

© Колесников А.В., Листопад С.В., Данишевский В.И., Суворов К.В., 2016

координация, согласованность, самоорганизация, синергия и другие, способны получать результаты не хуже, чем реальные коллективы экспертов, решающие аналогичные задачи [1].

Существенный недостаток ГиИСППР систем на текущем этапе их развития — моделирование преимущественно логического мышления, обеспечивающего возможность рассуждать в рамках абстрактных цепочек символов, с которыми связаны некоторые семантические и прагматические представления. Не менее важен и другой механизм мышления — способность использовать визуальные образы и представления о них [2]. Такие образы обладают большей конкретностью и интегрированностью, чем символические представления. Они и более расплывчаты, менее логичны, чем то, что скрывается за элементами, с которыми оперирует логическое мышление. Без них нельзя отображать в сознании человека окружающий мир в той полноте, которая для него характерна.

Вопросы принятия решений человеком на основе визуальных образов исследуются в таких научных направлениях, как визуальное управление, визуальный управленческий контроль, когнитивная графика, образное мышление и инженерии образов. Проанализируем методы и технологии этих научных направлений с точки зрения их моделирования в ГиИСППР с когнитивным компонентом.

1. Понятия визуального управления и когнитивной графики

Феномен человеческого визуального восприятия заключается в том, что он способен воспринимать образ целиком, а не набор отдельных, независимых объектов [3]. Это явление было изучено теоретиками Гештальта М. Вертхеймером (M. Wertheimer), В. Кехлером (W. Köhler) и К. Коффка (K. Koffka), определившими врожденные умственные законы, согласно которым происходит восприятие объектов. Основной принцип Гештальта заключается в том, что целое не является простой суммой своих частей, а имеет большее значение, чем его отдельные компоненты. Принципы Гештальта определяют пра-

вила, согласно которым человеческое восприятие организовывает визуальные элементы в «единое целое». Эти принципы не потеряли актуальность и на данный момент: фигура и земля, близость, общие черты, перекрытие, непрерывность, общая область, соединение, симметрия.

Визуальное представление улучшает понимание данных, информации и знаний специалистами, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса принятия решений в целом [3]. В [4], сравнивая визуальное и текстовое представление задач из области физики, авторы указывают следующие причины этого явления: 1) локальность, близость расположения элементов, требующих совместной обработки; 2) минимизация количества обозначений в силу того, что люди способны воспринимать правильно организованную визуальную информацию без детального текстового описания; 3) улучшение восприятия: визуальное представление информации позволяет естественным образом представить отношения и зависимости между понятиями предметной области, за счет чего значительно повышается интенсивность умозаключений экспертов.

Использование визуального представления данных, информации и знаний изучается, в частности, в таких научных направлениях, как визуальное управление и когнитивная графика. Визуальное управление — принцип построения и организации рабочего места, при котором пользователь имеет возможность быстро получать ключевую информацию с помощью технологий визуализации и оперативно реагировать на нее. Основная цель визуального управления — организовать рабочее место пользователя таким образом, чтобы ситуация принятия решений стала для него прозрачной и понятной. Основная технология, применяемая при этом, — визуализация информации об объекте и субъекте управления.

В этом смысле визуальное управление имеет явное сходство с когнитивной графикой — совокупностью методов и средств представления знаний и работы с ними на уровне визуальных (статических и/или динамических) образов. Компь-

ютерные образы при этом рассматриваются как декларативные структуры, трансформирующиеся во внутреннее представление процедурами, отражающими знания о законах преобразования сформированных образов, и позволяют активизировать представления об объектах, недоступных прямому наблюдению или не имеющих образного представления в реальном мире [5]. Когнитивная графика — базис, на основе которого строятся системы визуального управления.

Применение когнитивной графики и методов визуального управления оказывает положительное влияние не только на процесс индивидуального принятия решений, но и активно используется во время коллективной работы над задачами. Большинство методов визуального управления изначально нацелены на улучшение коммуникации между членами коллектива, принимающего решения. Д. Роэм (D. Roam) отмечает, что даже простейшие картинки, сделанные от руки на салфетке, могут запустить коллективное обсуждение задачи и ускорить процесс ее решения: «Рисуя их, глядя на них или разговаривая о них, эксперты значительно усиливают свои способности думать, помнить и действовать» [6, с. 21].

Таким образом, визуальное представление данных, информации и знаний — неотъемлемая часть процесса решения задач экспертами. В связи с этим невозможно полноценно моделировать коллективные рассуждения с использованием ГиИСППР без учета визуального, образного мышления. Рассмотрим основные методы визуального представления информации с целью их дальнейшего применения в ГиИСППР.

2. Методы визуального управления и когнитивной графики

На практике, используются более сотни методов визуального структурирования, что обусловлено существенными различиями в природе, особенностях и свойствах знаний различных предметных областей. В работах [3; 7; 8] проанализированы наиболее известные методы визуализации, определены критерии классификации и классы методов (рис. 1).

Рис. 1. Критерии классификации и классы методов визуализации

Применение данных критериев классификации к методам визуализации информации, применяемым в ГиИСППР, позволит, определив степень релевантности каждого метода классу, выбирать методы визуализации в соответствии с теми задачами, которые стоят перед элементами ГиИСППР. Рассмотрим структуру ГиИСППР с когнитивным компонентом, в котором выполняются рассуждения на основе визуальных образов.

3. Визуальное управление и когнитивная графика в гибридных интеллектуальных системах поддержки принятия решений

Схема рассуждений над гетерогенным визуальным полем в ГИиСППР показана на рисунке 2. ГиИСППР состоит из элемента-ЛПР, элементов-экспертов, хранилища визуальных шаблонов и рабочего поля, которые взаимодействуют, обмениваясь, помимо прочего, визуальной информацией.

Элемент-ЛПР моделирует работу реального ЛПР по декомпозиции задачи, распределению подзадач по элементам-экспертам в соответствии с их возможностями, интеграции частных решений элементов-экспертов. Последние представляют собой компьютерные модели знаний реальных экспертов, при этом, в отличие от элементов-экспертов классических ГиИС, они могут обмениваться визуальной информацией. Для

этих целей в состав каждого элемента ГиИСППР помимо подсистемы рассуждений включены подсистемы восприятия и генерации визуальной информации.

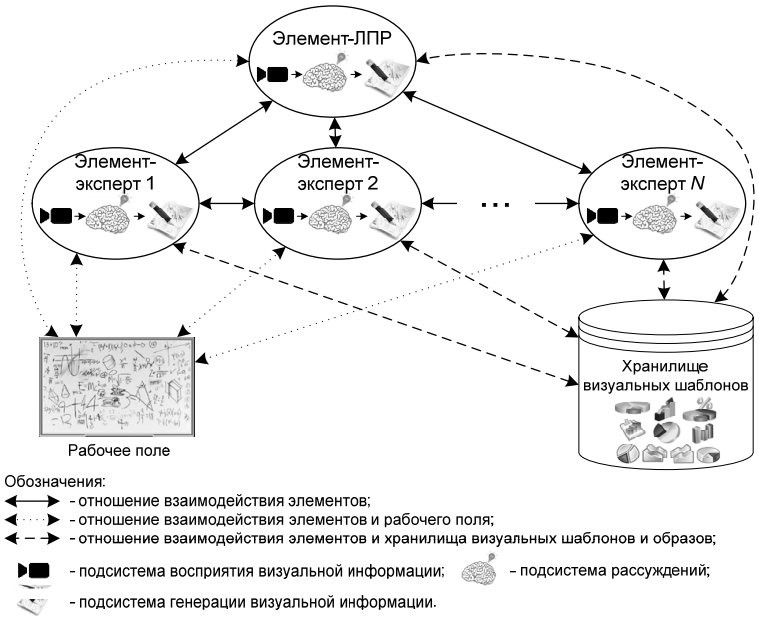


Рис. 2. Рассуждения над гетерогенным визуальным полем

Подсистема восприятия визуальной информации, своего рода «виртуальное зрение», производит распознавание входящего визуального образа. Обработанные данные поступают в подсистему рассуждений, где происходит обработка информации методами искусственного интеллекта, моделирующими поведение эксперта, в результате которой вырабатывается некоторое решение. Далее решение поступает в подсистему генерации визуальной информации. Данная подсистема обращается к хранилищу визуальных шаблонов, содержащему все доступные в этой системе методы визуализации информации, их характеристики и классификации в соответствии с критериями (рис. 1), с целью выбрать релевантный шаблон визуали-

зации решения. На основе шаблона происходит генерация визуального образа, после чего он передается другим элементам ГиИСППР.

Элементы ГиИСППР с когнитивным компонентом могут взаимодействовать и обмениваться визуальной информацией как напрямую друг с другом, так и через общее рабочее поле, которое представляет собой «доску объявлений», доступную всем элементам. Вывешивая на эту «доску объявлений» свои частные решения, элементы ГиИСППР модифицируют первоначальную постановку задачи, меняют ее восприятие другими элементами, конструируют общее, интегрированное решение.

Заключение

В работе были рассмотрены и проанализированы понятия визуального управления и когнитивной графики. Проведен анализ технологий, используемых в области визуализации информации, данных и знаний, выделены классы методов по различным критериям, что позволит систематизировать изучение и разработку в области визуального управления.

Использование предложенной классификации дает возможность реализовать отдельные подсистемы ГиИСППР с когнитивным компонентом, моделирующим рассуждения над гетерогенным визуальным полем. Моделирование визуальных рассуждений позволит более полно отображать в памяти компьютера окружающий мир и его свойства. Когнитивная составляющая позволит системе детально анализировать разнообразную информацию на нескольких уровнях представления, что повысит релевантность решений сложности исследуемых ситуаций.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-07-00271а.

Список литературы

1. *Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В. и др.* Гетерогенные интеллектуальные компьютерные системы поддержки принятия решений: модели координации и согласованности // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, вып. 2. С. 96—110.

2. *Башмаков А. И., Башмаков И. А.* Интеллектуальные информационные технологии. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.

3. *Mazza R.* Introduction to Information Visualization. London : Springer-Verlag London Limited, 2009.

4. *Larkin J. H., Simon H. A.* Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words // Diagrammatic Reasoning — Cognitive and Computational Perspectives. Cambridge, CA : AAAI Press, MIT Press, 1995. P. 69—109.

5. *Данишевский В. И., Колесников А. В.* Гибридная интеллектуальная система с когнитивной компонентой для диспетчерского управления региональной энергосистемой // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. М. : Физматлит, 2015. Т. 1. С. 391—399.

6. *Роэм Д.* Практика визуального мышления. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014.

7. *Lengler R., Eppler M.* A Periodic Table of Visualization Methods. URL: http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html.

8. *Li K., Tiwari A., Alcock J., Bermell-Garcia P.* Categorisation of visualisation methods to support the design of Human-Computer Interaction Systems // Applied Ergonomics. 2016. Vol. 55. P. 85—107.

Г. С. Малтугуева[1], А. Ю. Юрин[2], А. Б. Петровский[3], Н. О. Дородных[4]

[1,2,4]Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

[3]Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН Москва, Россия

e-mail: [1]gama@icc. ru, [2]iskander@icc. ru, [3]pab@isa. ru, [4]tualatin32@mail. ru

РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОМЕТОДНОГО ПОДХОДА К ОБРАБОТКЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Введение

Разнообразные практические задачи требуют выработки управляющих воздействий и принятия решений в результате анализа и обработки информации. Сложность процесса поддержки принятия решений возрастает с необходимостью учета

© Малтугуева Г. С., Юрин А. Ю., Петровский А. Б., Дородных Н. О., 2016

мнений различных специалистов и оцениванием вариантов по совокупности параметров. Для повышения эффективности процесса выбора и обоснованности принимаемых решений следует применять специализированное алгоритмическое и программное обеспечение.

1. Постановка задачи

Опишем задачу принятия решения в общем виде. Известно, что:

– множество вариантов $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$ конечно и не изменяется в процессе решения задачи;

– совокупность критериев $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_m\}$, характеризующих свойства вариантов, определяется лицом, принимающим решение;

– для оценивания вариантов привлекается группа независимых экспертов $Expert = \{Expert_1, Expert_2, \ldots, Expert_l\}$, при этом каждый эксперт оценивает все варианты по всем критериям;

– индивидуальные предпочтения экспертов могут быть представлены в различных формах: оценки (вербальные /числовые), упорядочения вариантов (с использованием отношений строгого предпочтения и эквивалентности), парных сравнений с числовыми/вербальными значениями;

– шкалы $X_1, X_2, \ldots, X_m$ критериальных оценок вариантов, имеющие числовые или вербальные градации значений.

Требуется предоставить лицу, принимающему решение, вариант с максимальным значением агрегированной оценки, на основе которой можно получить обоснование сделанного выбора.

Данная постановка задачи охватывает широкий класс задач принятия решений, связанных с выбором единственного (лучшего) варианта, а именно: задача многокритериального, группового выбора и группового многокритериального. Для решения таких задач разработаны разнообразные методы [1]:

– эвристические методы (способ Франклина, SMART, SMARTER);

– аксиоматические методы;
– иерархические методы (AHP, Multiplicative AHP);
– пороговые методы (семейство методов ELECTRE);
– вербальный анализ решений (группа методов ЗАПРОС, ОРКЛАСС, ПАРК);
– методы функций выбора (турнирный выбор);
– процедуры голосования;
– метод усреднения индивидуальных оценок, выраженных баллами;
– аддитивная свертка индивидуальных ценностей;
– метод групповой аналитической иерархии;
– метод агрегирования парных сравнений (РАМПА);
– метод оценки близости к опорной точке с усредненными оценками (TOPSIS);
– метод оценки близости к опорной точке с суммарными оценками (АРАМИС);
– метод последовательного агрегирования классифицируемых состояний (ПАКС, ПАКС-М);
– метод агрегирования индивидуальных предпочтений, представленных в форме ранжировок (АИР) [2].

Каждый из этих методов имеет свои особенности (область применения, форма представления входных данных, вид полученного результата). Разнообразие методов решения задачи принятия решений затрудняет подбор способов обработки информации при рассмотрении конкретных задач на практике.

2. Многометодный подход

Ввиду большого разнообразия методов решения задачи выбора лицу, принимающему решение, достаточно сложно найти наиболее подходящий способ обработки данных в конкретной задаче, определить достоверность результатов применения разных методов. Для разрешения этой проблемы предлагается разработать многометодный поход к решению задачи выбора.

Применение многометодных алгоритмов, процедур и технологий позволяет сокращать время поиска окончательного решения, сравнивать результаты работы нескольких методов, повышать обоснованность принимаемых решений, снижать влияния особенностей отдельных методов на получаемый результат. В области принятия решений описаны следующие многометодные схемы:

1) в [3] приведено описание схемы переключения между семью группами методов в зависимости от форматов входной и выходной информации;

2) в [4] предложены многометодные итерационные алгоритмы многокритериального ранжирования, проведен сравнительный анализ как самих нововведенных алгоритмов, так и конкретных методов, используемых в них;

3) в [5] описана многометодная технология многокритериального выбора ПАКС-М, которая позволяет решать задачу многокритериального выбора в признаковом пространстве большой размерности и в рамках которой разработан алгоритм группового многометодного выбора;

4) в [6] описан многометодный подход к обобщению двух форм индивидуальных предпочтений — оценок (числовых вербальных) и упорядочений вариантов.

Отметим, что большинство известных многометодных схем применяются к экспертной информации одного вида, а на практике индивидуальные предпочтения экспертов могут быть представлены в различных формах.

Для комплексного учета различных форм мнений экспертов и особенностей различных методов обобщения информации при принятии решений предлагается реализовать многометодный подход, который позволит лицу, принимающему решение:

1) формировать перечень методов, применимых в конкретном случае;

2) одновременно обрабатывать различные формы представления индивидуальных предпочтений;

3) решить задачу набором методов;

4) сравнивать результаты работы методов;

5) получать «весомое» обоснование для принятия окончательного решения.

Схематически предлагаемый поход представлен на рисунке 1.

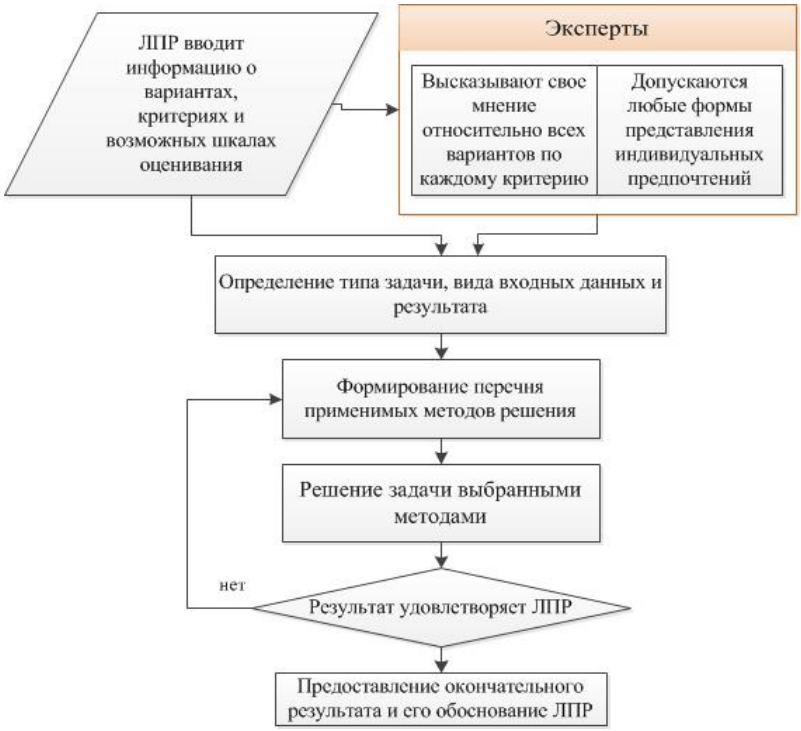


Рис. 1. Схема многометодного подхода

3. Программная реализация многометодного подхода

Для повышения эффективности применения предложенного многометодного подхода к решению задачи обработки экспертной информации и формулировке обоснования выбора

для лица, принимающего решение, предлагается разработать программное обеспечение — систему поддержки принятия решений (СППР). Основные функции СППР:

– описание вариантов, критериев;

– построение шкал оценивания;

– ввод индивидуальных предпочтений экспертов с возможностью выбора формы представления (оценка, парные сравнения, упорядочение вариантов);

– установление вида задачи и формирование перечня методов, применимых для ее решения;

– решение задачи с помощью подобранных методов;

– формулировка обоснования для окончательного результата;

– отображение информации.

Для реализации функции по подбору методов, применимых к решению задач определенного вида, предлагается разработать паспорта методов решения задач принятия решений. Пример паспорта приведен в таблице.

Пример паспорта метода АРАМИС

Название	АРАМИС
Полное название	Агрегирование и Ранжирование Альтернатив около Многопризнаковых Идеальных Ситуаций
Разработчик	А. Б. Петровский
Тип задачи	Групповой многокритериальный выбор
Входные данные	Вербальные, числовые оценки
Вид результата	Агрегированные оценки вариантов, упорядочение вариантов
Математическая основа	Мультимножества
Особенности	Работа в метрическом пространстве мультимножеств Петровского
Ограничения	Метрики для вычисления расстояния влияет на результат

Окончание табл.

Название	АРАМИС
Применение (задачи)	1. Оценка проектов в РФФИ 2. Выбор конструкционных материалов 3. Выбор мероприятий по улучшению состояния атмосферного воздуха в городе 4. Оценка эффективности медицинского персонала
Ссылки	*Петровский А. Б.* Теория принятия решений. М. : Издательский центр «Академия», 2009. 400 с.

Архитектура СППР, реализующей предложенный многометодный подход к решению задач выбора, представлен на рисунке 2.

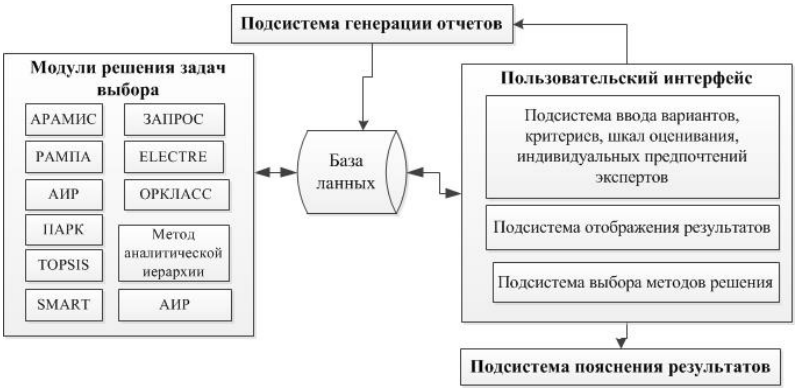


Рис. 2. Архитектура СППР

В базе данных хранятся сведения о каждой решенной задаче, включая множества вариантов и критериев, а также сведения об использованных шкалах оценивания и индивидуальные предпочтения всех экспертов. В настоящее время разрабатываются паспорта для методов решения задач группового многокритериального выбора, что позволит увеличить количество модулей формирования агрегированных оценок.

Программная реализация СППР будет осуществляться на основе имеющегося прототипа программной системы, позволяющей решать задачи группового многокритериального выбора с представлением индивидуальных предпочтений в виде оценок (вербальных, числовых) и упорядочений вариантов.

Заключение

В работе описан многометодный подход к решению задач выбора, позволяющий лицу, принимающему решение, подбирать методы решению задачи, сравнивать результаты работы методов, получать обоснование для принятия окончательного решения. Предложено реализовать предлагаемый подход в форме системы поддержки принятия решений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект №16-07-01125).

Список литературы

1. *Петровский А.Б.* Теория принятия решений. М. : Издательский центр «Академия», 2009.

2. *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) : труды конференции : в 2 т. М. : ИСА РАН, 2015. Т. 2. С. 72—80.

3. *Любченко В.В.* Переключение методов в интерактивной процедуре принятия решений // Труды Одесского политехнического университета. 2002. Вып. 2(18). С. 2—3.

4. *Харичкин А.Е.* Итерационные многометодные алгоритмы многокритериального ранжирования при выборе схемы подключения клиента к оператору связи : выпускная квалификационная работа. М. : Московский физико-технический институт, 2009.

5. *Петровский А.Б., Лобанов В.Н.* Многокритериальный выбор в пространстве признаков большой размерности: мультиметодная технология ПАКС-М // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. №3. С. 92—104.

6. *Малтугуева Г. С., Малтугуева Н. С.* Задача экспертного оценивания сценариев при многовариантных расчетах // Программные системы: теория и приложения: электронный научный журнал. 2014. Т. 5. №5(23). С. 3—13. URL http://psta.psiras.ru/read/psta2014_5_11-21.pdf.

Е. А. Мальчевская[1], А. А. Золотин[2]
[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
e-mail: [1]katerina. malch@gmail. com, [2]andrey. zolotin)@gmail. com

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ВЫВОД В АБС: АРХИТЕКТУРА И ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ЯЗЫКЕ C#

Введение

Большие объемы данные и присутствующие в них «не»-факторы, с которыми приходится иметь дело, делают вероятностные графические модели (ВГМ) одними из востребованных представлений информации. Алгебраические байесовские сети (АБС), предложенные В. И. Городецким в конце прошлого столетия [1], являются одним из классов вероятностных графических моделей, представляющих базы знаний с неопределенностью. АБС — родственная модель байесовским сетям доверия, имеющим широкое применение в социоэкономике [2], оценке рисков [3], торговле ценными бумагами [4] и системах прогнозирования [5; 6]. Отличительная особенность ВГМ — возможность декомпозиции предметной области на фрагменты знаний (ФЗ) — совокупности локально тесно связанных объектов, что порождает два вида вывода: локальный и глобальный. Преимущество ВГМ состоит в том, что алгоритмы, реализующие локальный вид вывода, могут требовать больших ресурсов, что, однако, компенсируется малыми объемами данных, к которым такие алгоритмы применяются. Однако нехватка программной реализации [7] предложенных ра-

© Мальчевская Е. А., Золотин А. А., 2016

нее матрично-векторных алгоритмов [8] существенно затрудняет анализ результатов вывода и как следствие всей теории АБС в целом.

Цель данной работы — обзор архитектуры и классов, дополненный примерами использования нового программного комплекса на языке C#, реализующего структуру хранения ФЗ АБС, алгоритмы поддержания непротиворечивости и алгоритмы локального логико-вероятностного вывода.

1. Архитектура программного комплекса

Программный комплекс состоит из набора структур, покрывающих функциональность, необходимую для создания фрагмента знаний и проведения логико-вероятностного вывода в нем.

Рассмотрим основные структуры, составляющие архитектуру комплекса. Структура ABN состоит из интерфейсов и классов, позволяющих создавать ФЗ с интервальными, скалярными и бинарными оценками вероятности. Также есть возможность для существующего ФЗ задать набор пропозициональных формул, заданных на том же алфавите, что и рассматриваемый ФЗ. Над этими формулами впоследствии может быть проведен локальный априорный вывод. Структура Inferrer отвечает за поддержание непротиворечивости в ФЗ и проведение локального априорного вывода. Структура Propagator, состоящая из классов, абстрактных классов и интерфейсов, — за апостериорный логико-вероятностный вывод, а именно за пропагацию детерминированного, стохастического или неточного свидетельства во ФЗ со скалярными или интервальными оценками вероятности.

Также в программном комплексе существуют вспомогательные структуры, непосредственно не относящиеся к ЛВВ в АБС.

Класс LP является классом-фасадом для импортируемой библиотеки lp_solve55, предназначенной для решения задач линейного программирования (ЗЛП). Этот класс унифицирует

процесс решения ЗЛП, используемых при пропагации свидетельств, класс-прослойка, позволяющий задавать количество переменных, применяемых в ЗЛП, коэффициенты у переменных в целевой функции и в ограничениях и позволяющий получать результат решения самой ЗЛП. Структура Alphabet позволяет работать с алфавитом, например с глобальными и локальными индексами атомов, находить строковое представление атома по его глобальному индексу. В структуре Exceptions содержатся классы, которые задают новые виды исключений. Пространство Collectors содержит классы, упрощающие подсчет математического ожидания в пропагаторах. Структура MatrixTransform определяет множество операций с матрицами I_n и J_n, позволяющими осуществить переход между вектором с оценками вероятности конюнктов и вектором с оценками вероятности квантов.

2. Примеры использования программного комплекса

Проанализируем примеры работы программного комплекса, в частности поддержание непротиворечивости ФЗ и априорный и апостериорный выводы.

В первую очередь рассмотрим априорный вывод во ФЗ с интервальными оценками. Суть априорного вывода заключается в том, что мы задаем пропозициональную формулу и хотим вычислить ее вероятность при условии оценок вероятностей обсуждаемого фрагмента знаний. Если быть точнее в программной реализации мы задаем не пропозициональную формулу, а коэффициенты в разложении данной пропозициональной формулы в СДНФ по конъюнктам ФЗ. Программа не только считает вероятностные оценки пропозициональной формулы, но и поддерживает непротиворечивость ФЗ. На приведенном ниже листинге изображена программная реализация априорного вывода. Вначале мы создаем ФЗ, в конструкторе задавая его глобальный индекс, массив из нижних оценок вероятности и массив из верхних оценок вероятности. В качестве расширения ФЗ задаем над ним пропозициональную фор-

мулу, а точнее, название нашей формулы и коэффициенты ее разложения в СДНФ. Также создаем подходящий инферер, класс, который осуществляет априорный вывод и операции, сопутствующие ему. И далее посредством метода processKP происходит априорный вывод. Затем приведен пример того, как мы можем считать нижнюю границу результата проведенного вывода, верхняя граница считывается аналогично.

Далее показано, как это выглядит в выводе. На второй части листинга видно, какие вероятности мы задали, а дальше следует результат априорного вывода и пересчитанные согласованные оценки рассматриваемого ФЗ. Можно заметить, что для данного ФЗ оценки сузились.

```
IntervalConjKP_I intKP = new IntervalConjKP(
        Convert.ToInt64("11", 2),
        new double[] { 1, 0.46, 0.29, 0.33 },
        new double[] { 1, 0.7, 0.5, 0.9 });
intKP.addLinearForm("Equivalence", 1, -1, -1, 2);
IntervalConjunctsLocalInferrer inf = new   IntervalConjunct-
sLocalInferrer();
inf.processKP(intKP);

inf.getResult().getLinearForm("Equivalence").
        getLB();

Probabilities of knowledge pattern:
1   0.46   0.29   0.33
1   0.7   0.5   0.9
Formula: Equivalence
1   -1   -1   2
Formula probability:  from 0.46  to 1
Consistent probabilities of
knowledge pattern:
1   0.46   0.33   0.33
1   0.7    0.5    0.5
```

Теперь перейдем к апостериорному логико-вероятностному выводу. Разберем пропагацию детерминированного, стохастического и неточного свидетельств во фрагменты знаний.

Пропагируем детерминированное свидетельство во фрагмент знаний со скалярными оценками. Сначала создаем ФЗ со

скалярными оценками, в конструкторе задаем глобальный индекс и массив со скалярными оценками вероятности ФЗ. Затем задаем свидетельство, которое будем пропагировать, как ФЗ с бинарными оценками вероятности. Создаем подходящий пропагатор, класс непосредственно созданный для осуществления апостериорного вывода и сопутствующих ему операций, в качестве аргумента у которого выступает ранее созданный ФЗ. С помощью метода `propagate` мы производим пропагацию свидетельства и в результате получаем решение первой и второй задач апостериорного вывода.

Метод `getEvidenceProbability()` возвращает нам решение первой задачи, а `getResult().GetPointEstimate()` — второй. На листинге изображены входные данные, а именно скалярные оценки вероятности ФЗ и свидетельство и решения обеих задач апостериорного вывода соответственно.

Для остальных примеров мы в целях экономии места не станем подробно разбирать программную реализацию вывода, будем лишь рассматривать то, что поступает на вход, и то, что программа выдает на выходе.

```
ScalarConjKP_I kp = new ScalarConjKP(
Convert.ToInt64("11", 2),
new double[] { 1, 0.7, 0.5, 0.3 });
            DeterministicScalarConjunctsLocalPropagatorI
scprop = new DeterministicScalarConjunctsLocalPropagator(kp);
BinaryConjKP_I evid = new BinaryConjKP(
Convert.ToInt64("01", 2));
scprop.propagate(evid);
scprop.getEvidenceProbability();
scprop.getResult().GetPointEstimate();

Probabilities of knowledge pattern:
1   0.7   0.5   0.3
Deterministic evidence:    x1
RESULT:
First task: 0.7
Second task:
    1  1  0.428571428571429  0.428571428571429
```

Теперь пропагируем стохастическое свидетельство во ФЗ со скалярными оценками. Стохастическое свидетельство представляет из себя ФЗ со скалярными оценками, построенное над алфавитом, состоящим только из x1. Задаются оценки вероятности для ФЗ и свидетельства. В результате получаем решение первой и второй задач апостериорного вывода.

```
Probabilities of knowledge pattern:
1   0.7   0.5   0.3
Probabilities of evidence:
1   0.4
First task: 0.46
Second task:
1  0.4  0.571428571428571  0.171428571428571
```

И наконец, рассмотрим последний случай пропагации неточного свидетельства во ФЗ с интервальными оценками вероятности. Зададим интервальные оценки ФЗ и свидетельства соответственно, а на выходе получим решения первой и второй задачи локального апостериорного вывода.

```
Probabilities of knowledge pattern:
1   0.2   0.5   0.06
1   0.7   0.87   0.4
Probabilities of evidence:
1   0.2
1   0.73
First task:  from 0.227 to 0.78
Second task:
1  0.2  0.123214285714321   0.021428571428575
1  0.73 1                   0.73
```

Заключение

Рассмотренный в статье программный комплекс реализует матрично-векторные алгоритмы локального ЛВВ, а его модульная структура, основанная на принципах ООП, дает возможность в дальнейшем использовать его при реализации алгоритмов глобального ЛВВ. Приведенные в докладе примеры позволяют ознакомиться с основными функциями и, таким образом, достаточно быстро приступить к его применению.

Данный комплекс программ решает одни задачи и одновременно открывает перед нами следующие — реализацию глобального ЛВВ, требующие дальнейших исследований.

Статья содержит материалы исследований, частично поддержанных грантом РФФИ 15-01-09001 — «Комбинированный логико-вероятностный графический подход к представлению и обработке систем знаний с неопределенностью: алгебраические байесовские сети и родственные модели».

Список литературы

1. *Городецкий В.И.* Алгебраические байесовские сети — новая парадигма экспертных систем // Юбилейный сборник трудов институтов Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН. М.: РАН, 1993. Т. 2. С. 120—141.

2. *Alvarez-Galvez J.* Discovering complex interrelationships between socioeconomic status and health in Europe: A case study applying Bayesian Networks // Social Science Research. 2016. Vol. 56. P. 133—143.

3. *Brito M., Griffiths G.* A Bayesian approach for predicting risk of autonomous underwater vehicle loss during their missions // Reliability Engineering and System Safety. 2016. Vol. 146. P. 55—67.

4. *Bendtsen M, Pena J. M.* Gated Bayesian networks for algorithmic trading // International Journal of Approximate Reasoning. 2016. Vol. 69. P. 58—80.

5. *Bouzembrak Y., Marvin H. J. P.* Prediction of food fraud type using data from Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) and Bayesian network modelling // Food Control. Vol. 61. P. 180—187.

6. *Zhang Y., Zhao H., He X. et al.* Bayesian prediction of earthquake network based on space-time influence domain // Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications. 2016. Vol. 445. P. 138—149.

7. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: реализация логико-вероятностного вывода в комплексе java-программ // Тр. СПИИРАН. 2009. №8. P. 191—232.

8. *Tulupyev A. L., Sirotkin A. V., Zolotin A. A.* Matrix equations for normalizing factors in local a posteriori inference of truth estimates in algebraic Bayesian networks // Vestnik St. Petersburg University: Mathematics. 2015. Vol. 48, №3. P. 168—174.

А.В. Колесников[1], А.А. Меркулов[2], Ф.Г. Майтаков[3], Е.В. Петренко[4]
[1] БФУ им. И. Канта, [1] КФ ФИЦ ИУ РАН, [2]Ассоциация инновационных предприятий NBICS, [3,4] ООО «Техноценоз», Калининград, Россия
e-mail: [1]avkolesnikov@yandex. ru, [2]alex. merkulov@mail. ru, [3]maitakov@mail. ru, [4]zhenyok92@mail. ru

СИНТЕЗ РАБОЧИХ МЕСТ ВИРТУАЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОЛЛЕКТИВОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ И WEB 4.0

Введение

Одно из эффективных средств повышения качества принятия коллективных решений — виртуальные гетерогенные коллективы (ВГК) — комбинации, с одной стороны, методов и технологий организации заочного взаимодействия экспертов для поддержки коллективного принятия решений и, с другой стороны, методов, технологий гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) для поддержки индивидуального принятия решений за круглым столом в условиях разнообразия информации [1]. На сегодня достаточно хорошо проработаны вопросы формирования ВГК над гетерогенными модельными полями (ГМП) [2—4]. Однако практические задачи управления сложными распределенными объектами [5] требуют совмещать работу ВГК над ГМП и гетерогенными визуальными полями (ГВП). Также на сегодня не исследован вопрос работы над ГВП и их совмещения с ГМП.

В ранних работах авторов по ситуационным центрам [5—7] хорошо изучены вопросы, связанные с совмещением визуальных образов с символьными полями, однако не используется технология ВГК.

В данной публикации прорабатывается технология применения ситуационных центров для совмещения работы ГиИС над ГМП и ГВП в поддержке индивидуальных решений и использования технологий WEB 4.0 для организации заочного взаимодействия экспертов.

© Колесников А.В., Меркулов А.А., Майтаков Ф.Г., Петренко Е.В., 2016

1. Виртуальный гетерогенный коллектив

Виртуальный гетерогенный коллектив состоит из внутренних специалистов и внешних экспертов. И те и другие могут использовать ГиИС и функциональные гибридные системы (ФГиИС).

Под ГиИС понимается система, в которой для решения задачи применяется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [8]. Это совокупность аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов, имитационных статистических моделей. Под ФГиИС понимаются слабо- и сильносвязанные ГиИС в силу того, что их состав и структура во многом зависят от решаемой задачи. Универсальная организация взаимодействия в ВГК идет в соответствии с концептуальной моделью, представленной в [1].

2. Технологии ситуационных центров в создании рабочих мест

Для синтеза и настройки рабочего места в ситуационном центре VSM Cenose [9; 10] используется метод визуального программирования интерфейса. Система состоит из автоматизированных рабочих мест (АРМ). АРМ предназначено для решения спектра задач конкретных групп пользователей и включает набор конфигураций. Каждая конфигурация представляет собой набор визуальных представлений инструментов — виджетов, скомпонованных определенным образом и настроенных для решения конкретной задачи (рис. 1).

Виджеты компонуются в конфигурации с помощью контейнеров. Каждый контейнер занимает определенную область экрана конфигурации и содержит вкладки, в которых расположены виджеты (рис. 2).

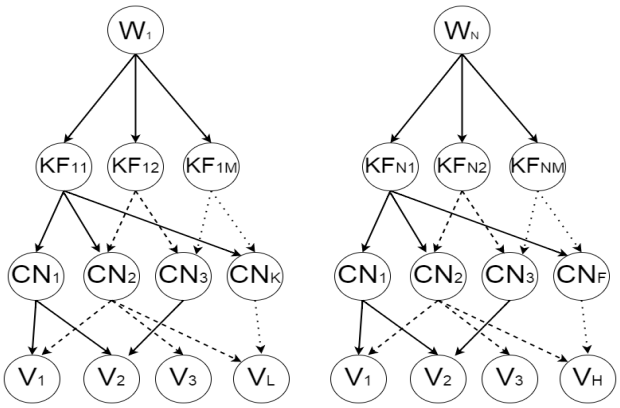


Рис. 1. Общая схема рабочих мест (W), конфигураций (KF), контейнеров (CN) и виджетов (V)

Рис. 2. Схема компоновки контейнеров и виджетов в конфигурации

Компоновка контейнеров и виджетов в конфигурации происходит в режиме настройки рабочего места с использованием метода «Drag and Drop». После завершения компоновки виджеты нужно связать между собой, обеспечив их взаимодействие. Каждый виджет имеет набор входящих и исходящих событий. Исходящие события генерируются виджетом, а входящие события принимаются от других виджетов в конфигурации. Настройка маршрутизации событий между виджетами позволяет добиться необходимого поведения конфигурации.

Предложенный механизм визуального программирования интерфейса снимает часть проблем, связанных с решением новых задач в СППР, путем настройки новых конфигураций и, соответственно, рабочих мест из имеющихся инструментов.

Совмещение работ над ГМП и ГВП достигается тем, что в рабочих местах ситуационного центра обязательно присутствует минимум три контейнера со следующими свойствами: 1) целостная (образно-визуальная) картина управляемого объекта (сцена, включающая внешнюю и внутреннюю среды, объекты управления); 2) символьные перечисления элементов сцены и объектов управления; 3) символьно-визуальная деталировка выбранного объекта (рис. 3).

Рис. 3. Рабочее место

Для случая, когда существующих в системе функциональных средств не хватает для решения поставленных задач, используются новые инструменты, оформленные в виде плагинов. Данный механизм позволяет добавлять в систему новые

компоненты-плагины без прерывания работы программного комплекса и без участия программиста. Для того чтобы использовать ГиИС или функциональные гибридные системы (ФГиИС) [3] в ситуационном центре VSM Cenose [5], достаточно их оформить и в качестве плагина.

Технология синтеза рабочих мест в ситуационном центре позволит распространить идеологию соединения визуальных и символьных образов на ГиИС и ФГиИС, которые являются составляющими ВГК в части принятия коллективных решений за круглым столом.

За границами данной публикации остается подбор и обоснование самих визуальных полей. Этой теме будет посвящена отдельная работа.

3. Технология WEB 4.0

Рассмотрим технологию организации заочного взаимодействия виртуальных экспертов для поддержки коллективного принятия решений — второй составляющей ВГК [1].

Сегодня достаточно прочно закрепились понятия WEB 1.0 [11] и WEB 2.0 [12]. Дальнейшее развитие глобальной сети Интернет сильно связано с таким активно развиваемым направлением, как семантическая паутина -надстройка над существующей Всемирной паутиной, разработанная для того, чтобы сделать размещаемую в Интернете информацию пригодной для машинной обработки, автоматического анализа, синтеза выводов и преобразования как самих данных, так и сделанных на их основе заключений в различные представления, полезные на практике [13]. Достаточно хорошо семантическая паутина рассмотрена в [14]. Постепенно формируется понятие WEB 3.0 (часто оно совпадает с понятием семантической паутины), но сегодня оно трактуется по-разному.

Для спецификации понятия WEB 4.0 определим WEB 1.0, WEB 2.0, WEB 3.0 через способы работы разработчиков и пользователей с контентом, структурой и архитектурой сайта.

WEB 1.0 — контент представлен в основном текстами, файлами, изображениями в машинно-нечитаемых форматах: pdf, doc, jpg, png, mp4, avi и т. д. Контент, структуру и архитектуру сайта формирует разработчик. Так функционируют большинство известных интернет-сайтов (рис. 4).

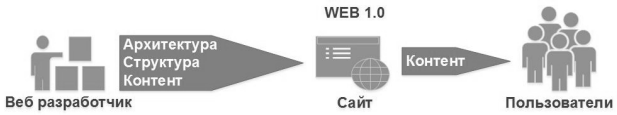


Рис. 4. Схема WEB 1.0

WEB 2.0 — контент представлен в основном текстами, файлами, изображениями в машинно-нечитаемых форматах: pdf, doc, jpg, png, mp4, avi и т. д. Структуру и архитектуру сайта формирует разработчик. Контент — пользователи. Наиболее известные ресурсы: Википедия, OpenStreetMap, социальные сети и др. (рис. 5).

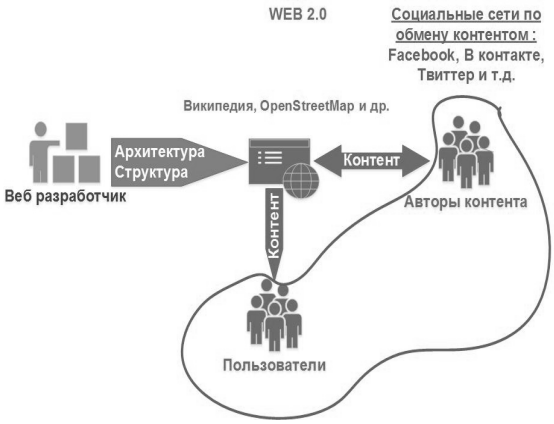


Рис. 5. Схема WEB 2.0

WEB 3.0 — контент представлен в основном данными в машинно-читаемом форматах: xls, csv, xml, html, json, rdf, ксс

и т. д. Архитектуру сайта формирует разработчик. Контент и его структуру — пользователи (рис. 6). Примеры можно посмотреть по ссылкам: http://sc.gov39.ru, http://властьимы.рф.

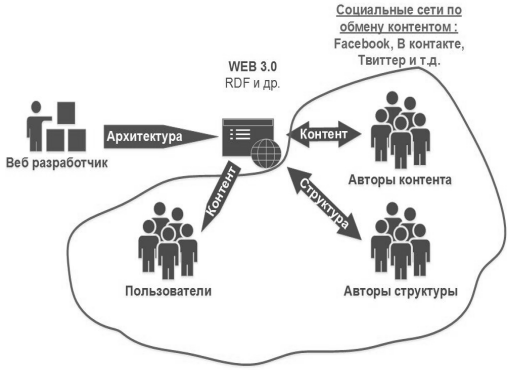


Рис. 6. Схема WEB 3.0

WEB 4.0 — контент представлен в основном данными в машинно-читаемом форматах: rdf, ксс. Архитектуру сайта формирует разработчик вместе с пользователями сети. Контент и структуру контента — пользователи. В качестве пользователей появляются робототехнические устройства и сервисы (рис. 7).

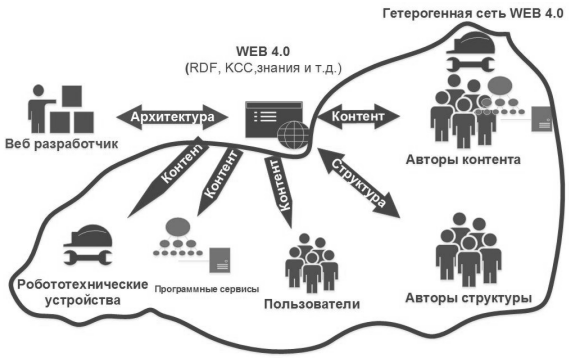


Рис. 7. Схема WEB 4.0

По примеру социальных сетей WEB 2.0 начинают появляться социальные сети WEB 4.0. Их ключевое отличие — обмен структурами данных. Пример можно посмотреть по ссылке: http://nbis.net. Работа находится в режиме отладки. После регистрации можно обменяться конфигурацией с администратором сайта в тестовом режиме. В рабочем режиме сайт будет функционировать с сентября 2016 года.

Общая схема развития WEB технологий представлена на рисунке 8.

Рис. 8. WEB технологии

В смысле этих определений в рамках ситуационного центра реализована технология WEB 4.0 (http://nbis.net) — технологической основой организации заочного взаимодействия экспертов для поддержки коллективного принятия решений.

4. Методика использования технологии

Рассмотренные выше подходы синтеза рабочих мест для виртуальных гетерогенных коллективов на основе технологий ситуационных центров и WEB 4.0 реализуются в программном продукте «Сетевая интерактивная лаборатория NBICS.NET» [15]. Его назначение — обеспечение сетевого интерактивного взаимодействия людей, организаций, робототехнических уст-

ройств и программных сервисов в рамках NBICS конвергенции (http://nbics.org) и национальной технологической инициативы (http://asi.ru/nti/) на основе технологий ситуационных центров и WEB 4.0. В состав сети входят: 1) узлы сети — люди, организации, робототехнические устройства и программные сервисы, использующие преимущественно NBICS технологии; 2) система управления узлом — персональный ситуационный центр; 3) коммуникационный интерфейс узла — WEB 4.0.

Контент представлен в основном в виде данных (https://ru.wikipedia.org/wiki/Данные), открытых данных (http://ru.wikipedia.org/wiki/Открытые_данные) и знаний (http://ru.wikipedia.org/wiki/Знание) и оформлен в машинно-читаемом формате. Контент генерируется и модерируется (от «модерация». — *Прим. авт.*) пользователями сети. Функциональное назначение — формирование сетевого сообщества 6-го экономического уклада для совместного и индивидуального: образования, управления узлами сети, проектирования, производства, продвижения товаров и услуг, взаимодействия в других видах деятельности.

Заключение

Сейчас сетевая интерактивная лаборатория NBICS (http://nbics.org) находится в стадии разработки. Разработка ведется с применением следующих подходов технологии экстремального программирования: короткий цикл обратной связи (Fine-scale feedback), разработка через тестирование (Test-driven development), заказчик всегда рядом (Whole team, Onsite customer), парное программирование (Pair programming), непрерывный, а не пакетный процесс, непрерывная интеграция (Continuous integration), частые небольшие релизы (Small releases), понимание, разделяемое всеми.

Работа ведется с самого начала с использованием виртуальных гетерогенных коллективов. В качестве коллективного эксперта выступает научная школа профессора А. В. Колесникова. Основной состав проекта работает под руководством

директора технопарка КГТУ А. А. Меркулова и включает в себя: технопарк Калининградского государственного технического университета, ассоциацию инновационных предприятий NBICS, ассоциацию 3D образования, пять малых инновационных предприятий Калининградской области, три детских юношеских центра Калининградской области, школьники средних школ Калининградской области.

Работа частично поддержана грантами РФФИ №16-07-00271а, 16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Кириков И. А., Колесников А. В., Листопад С. В. и др.* Виртуальные гетерогенные коллективы, поддерживающие принятие решений // Системы и средства информатики. 2015. №25(3). С. 126—149.

2. *Колесников А. В.* Моделирование естественных гетерогенных систем коллективного принятия решений // Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2015) : тр. 6-й Междунар. конф. М., 2015. Т. 1. С. 7—16.

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

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

5. *Меркулов А. А.* Ситуационный центр VSM Cenose. Калининград : Техноценоз, 2014.

6. *Колесников А. В., Меркулов А. А.* Универсальный паттерн организации ситуационных центров // Системы и средства информатики. 2013. №23(2). С. 198—222.

7. *Колесников А. В., Меркулов А. А.* Программный продукт «Ситуационный центр VSM Cenose» // Системы и средства информатики. 2013. №23(2). С. 223—243.

8. *Колесников А. В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.

9. *Меркулов А. А., Дмитровский В. А., Майтаков Ф. Г.* Ситуационный центр VSM Cenose WEB. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2015612764 от 26.02.2015.

10. *Меркулов А.А., Майтаков Ф.Г., Петренко Е.В. и др.* Визонариум VSM Cenose WEB. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2015612762 от 26.02.2015 г..

11. *Веб* 1.0. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Веб_1.0.

12. *Веб* 2.0. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Веб_2.0.

13. *Семантическая* паутина. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Семантическая_паутина.

14. *Андон Ф.И. Гришанова И.Ю., Резниченко В.А.* Semantic Web как новая модель информационного пространства Интернет. URL: http://shcherbak.net/semantic-web-kak-novaya-model-informacionnogo-prostranstva-internet/.

15. *Меркулов А.А., Майтаков Ф.Г., Петренко Е.В. и др.* Сетевая интерактивная лаборатория NBICS. NET. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ, вх.№2016613608 от 14.04.2016 года.

С.А. Солдатов
ООО «ЛАЙТОН», Москва, Россия
e-mail: soldatov@l-on.ru

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Введение

Развитие информационных технологий вызвало лавинообразный рост информации, что в свою очередь привело к массовому созданию различных средств и систем для накопления и анализа информации. Первоначально их развитие во многом велось по экстенсивному пути — наращивание вычислительных мощностей и усложнение средств анализа. Но все чаще исследователи стали сталкиваться с необходимостью комбинирования различных источников данных [1; 2]. Лишь всестороннее изучение поставленных задач позволяет уменьшить цену ошибки при принятии решений.

Зачастую источники данных оказываются различными по структуре и форме представления и охватывают разные облас-

© Солдатов С. А., 2016

ти знаний. Работы по анализу информации привели исследователей к необходимости переосмысления методов и средств обработки информации. Подсказку дала природа — симбиоз и гибридизация. Симбиоз различных организмов это способ, который позволяет выживать многим организмам миллионы лет. А гибридизация дает возможность биологам создавать новые растения и животных, объединяющих в себе наиболее полезные признаки уже существующих. Обратив внимание на данные природные процессы, исследователи в области информатики разработали гибридные интеллектуальные модели, в них достоинства одних элементов позволяют нивелировать недостатки других [1; 3; 4]. Созданный А. В. Колесниковым, А. В. Гавриловым, И. Б. Фоминых, Ajith Abraham, Hans-Arno Jacobsen и другими учеными задел по разработке гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) показал их перспективность. Но разнообразие гибридов и путей их создания наводит на вопросы: как сравнивать различные гибриды, какой гибрид лучше, как разработчику или конечному пользователю быстро собрать разные гибриды? Для ответа на эти вопросы необходимо всесторонне изучить существующие средства компьютерного моделирования и пути их развития.

1. Особенности разработки ГиИС

Сжато жизненный цикл ГиИС можно описать следующим образом: 1) формализация задачи; 2) редукция задачи; 3) выбор автономных методов; 4) разработка автономных моделей; 5) разработка интерфейсов автономных моделей; 6) подключение источников данных; 7) разработка гибридных стратегий; 8) машинные эксперименты; 9) эксплуатация и модернизация. Через эти этапы проходит каждый разработчик ГиИС [1; 3; 4]. В результате разработки создается система под конкретную прикладную задачу. Она имеет жесткую архитектуру, которая не позволяет изменить последовательность обработки данных и работы моделей из гетерогенного поля без изменения исход-

ного кода программы. Подстройка гибридной системы осуществляется через задание необходимых параметров в интерфейсе ГиИС.

В случае необходимости замены одной из моделей, например из-за неудачного выбора модели или способа ее реализации, единственный путь решения для пользователя ГиИС — обратиться к разработчику для модификации кода. При этом разработчик вынужден будет заново пройти с 4-го по 9-й этапы жизненного цикла ГиИС. Ему может потребоваться заново переработать интерфейсы взаимодействия моделей, провести профилирования для оценки вычислительной производительности ГиИС и тестирования на образцах данных.

Как при изначальной разработке, так и модернизации ГиИС в настоящее время создается путем написания исходного кода на языках высокого уровня: C/C++, Java, C# и т. д. и последующей компиляцией в машинный код. Для автоматизации разработки программного кода используются ее интегрированные среды (англ. IDE — Integrated Development Environment), представляющие собой совокупность программных средств, поддерживающих все этапы создания программного обеспечения — от написания исходного кода до компиляции и отладки. На данный момент существует широкий выбор таких программные средств: Visual Studio, NetBeans, Eclipse и др.

Для обеспечения возможности создания интеллектуальных программ, использующих методы, модели и средства искусственного интеллекта, для данных IDE подготовлены различные плагины [5; 6]. Подобные плагины позволяют вести разработку правил для экспертных систем внутри IDE с их последующей интеграцией в код программы. Для внедрения в ГиИС нейронных сетей, генетических алгоритмов и многоагентных систем применяются готовые библиотеки и шаблоны проектов программ. Но эти библиотеки содержат только готовый код для создания, управления и обработки результатов, без возможности моделирования взаимодействия с другими интеллектуальными моделями.

Для облегчения разработки программных средств в IDE практически всегда имеются инструменты структурного моделирования, чаще всего на базе UML. Но излишняя универсальность UML и слабоформализованная метамодель языка [7] приводят к тому, что созданная модель работает на очень высоком уровне абстракции. Зачастую разработчики, особенно начинающие, не могут понять на основе модели, что и как делает программа.

Вышесказанное показывает, что создание ГиИС требует высокой квалификации и широты знаний от разработчика, что затрудняет массовую разработку ГиИС и снижает конкурентоспособность решений на базе ГиИС. В существующих IDE практически невозможно построение концептуальных моделей ГиИС с последующей генерацией исходного кода на языке программирования или машинного кода.

2. Средства моделирования ГиИС

Альтернативным подходом по созданию ГиИС с нуля является использование пакетов прикладных программ обработки данных и решения аналитических задач. Среди них наиболее известны LabVIEW [8] и MATLAB [9].

LabVIEW — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G». Система интуитивно понятна и позволяет строить достаточно сложные системы управления инженерно-техническим специалистам, малознакомым с программированием. Эта среда используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления технологическими процессами. Один из примеров такого применения — Большой адронный коллайдер.

MATLAB создавался как средство автоматизации математических вычислений. Это и высокоуровневый язык, и интерактивная среда для программирования, численных расчетов, и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно

анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, модели и приложения. Он активно применяется в системах компьютерного зрения, робототехнике, для сбора и анализа данных.

В обоих продуктах для создания интеллектуальных систем доступны компоненты нечеткой логики, нейронные сети, генетический алгоритм. Есть поддержка работы с базами данных и различными их форматами.

Тем не менее обе системы имеют ряд недостатков [10; 11]:

1) сложность с автоматическим документированием разработанных программ;

2) ряд компонентов не входят в базовую поставку, их необходимо приобретать отдельно;

3) требуются базовые навыки программирования, а в случае с MATLAB достаточно глубокие математические знания;

4) отсутствуют средства трассировки и объяснения логических выводов в компонентах нечеткой логики;

5) сложности в интеграции с другими приложениями и расширении модельного поля.

Цена данных программных продуктов также весьма значительна, что приводит к необходимости самостоятельной разработки расширений для решения ряда задач.

3. Тенденции в области создания инструментария разработчиков интеллектуальных систем

Одним из путей повышения точности между моделью и сгенерированным кодом является переход к визуальным языкам программирования [12; 13]. Главное преимущество визуальных языков программирования — возможность наглядно представить программные структуры (алгоритмы и данные). Это противоречит традиционным текстовым языкам программирования, где такие многомерные структуры закодированы в одномерные строки с помощью достаточно сложного синтаксиса. Визуальные языки убирают этот слой абстракции, позволяя программисту непосредственно наблюдать и манипулиро-

вать программными структурами. А жесткая последовательность выполнения приводит к простой внутренней структуре команд, которая транслируется в быстрый и надежный код.

В современных разработках уже предпринимаются попытки интегрировать подход визуального программирования с программированием потоков данных (англ. dataflow programming), чтобы иметь непосредственный доступ к состоянию программы для онлайновой отладки. Помимо этого развитию визуального программирования способствует более широкое распространение сенсорных устройств — смартфонов, планшетов и сенсорных мониторов.

В разработке ГиИС, визуальное программирование на данный момент не используется. Но учитывая сложности в разработке ГиИС, указанные выше, создание специализированного визуального языка программирования может позволить строить гибрид из отдельных моделей, сосредоточивая усилия разработчика на их оптимальном подборе, а не проработке межмодельных интерфейсов и внутренней логике модели. Для полноценного внедрения такого языка в практику потребуется создание соответствующей среды разработки. Среда должна обеспечивать все возможности существующих IDE, как-то: отладка, профилирование и тестирование.

Создание языка программирования ГиИС облегчит разработчику построение нескольких модификаций ГиИС с целью последующего сравнения и выбора оптимальной. Архитектура языка должна быть простой и понятной не только специалистам по искусственному интеллекту, но специалистам из прикладных областей, где внедряются сейчас ГиИС. В то же время, как и в существующих языках визуального программирования, должна быть обеспечена простая интеграция в язык новых интеллектуальных моделей.

Поскольку одна из тенденций последних лет — это разработка специализированных надстроек над существующими кросплатформенными IDE, то вполне возможно создание такой же надстройки для нового языка визуального программи-

рования ГиИС. Это позволит не заниматься созданием интерфейса среды разработки, а сосредоточиться на разработке средств и инструментов поддержки нового языка. Наличие широкого сообщества вокруг существующей IDE дает возможность быстрее популяризовать новый язык.

Заключение

Заложенные в теории гибридных интеллектуальных систем возможности ограничивают их сферу применения только «фантазией» разработчика. На данный момент ГиИС используются в энергетике [14], для прогноза продаж [15], решения сложной задачи коммивояжера и задачи оперативно-производственного планирования [4], а также многих других. Но при этом для всех них по-прежнему характерны сложности с развитием и модернизацией, а самое главное, ограничение разработчика в одновременной возможности создания различных гибридов с целью определения оптимального. Отсутствие автоматизированных средств отладки, тестирования и проектирования ГиИС делает их разработку уделом ограниченного круга специалистов.

Создание визуального языка программирования и соответствующей среды программирования позволит преодолеть существующие сложности при разработке ГиИС и популяризовать их, сделав достоянием не только специалистов в области искусственного интеллекта, но и другого профиля.

Список литературы

1. *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.

2. *Беляева М.А.* Современные методы интеграции обработки экономической информации в корпоративных информационных системах и системах поддержки принятия решений // Седьмая всерос-

сийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2015 : тр. конф., 21—23 окт. 2015 г., Москва : в 2 т. М. : ИПУ РАН, 2015. Т. 2. С. 53—62.

3. *Farooq M.* Genetic Algorithm Technique in Hybrid // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Intelligent Systems for Pattern Recognition. 2015. Vol. 4(4). P. 1891—1898.

4. *Choubey D.K., Paul S.* Hybrid Intelligent System for Diabetes Disease Diagnosis // International Journal of Bio-Science and Bio-Technology. 2015. Vol. 7(5). P.135—150.

5. Easy Rules. URL: http://www.easyrules.org/.

6. *CLIPS* Language Support for Visual Studio. URL: https://visualstudiogallery.msdn.microsoft.com/167257f9-bee7-4c69-adec-9d0b1c6 9a94f.

7. *Гурьянов В.И.* Метамодель языка имитационного моделирования UML2 SP // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2015 : тр. конф., 21—23 окт. 2015 г., Москва : в 2 т. Т. 1. М. : ИПУ РАН, 2015. С. 59—62.

8. *LabVIEW* System Design Software. URL: http://www.ni.com/labview/.

9. *MATLAB*. URL: http://www.mathworks.com/products/matlab/.

10. *LabVIEW* Discussion Forums. URL: http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/bd-p/170.

11. *MATLAB* Answers. URL: http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/?term=status%3Aunanswered&s_tid=gn_mlc_ans_ans

12. *Blockly*. URL: https://developers.google.com/blockly/.

13. *DRAKON*. URL: http://drakon-editor.sourceforge.net.

14. *Barsoum N., Ismail F.B.* Hybrid intelligent monironing systems for thermal power plant trips // AIP Conference Proceedings. 2012. Vol. 1499 (1). P. 428.

15. *Hicham A., Mohammed B., Anas S.* Hybrid intelligent system for Sale Forecasting using Delphi and adaptive Fuzzy Back-Propagation Neural Networks // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2012. Vol. 3(11). P. 122—130.

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

И. Б. Арефьев[1], Е. К. Коровяковский[2]
[1]Морская академия Польши, Щецин
[2]Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: [1]i. arefyev@am. szczecin. pl, [2]ekorsky@mail. ru

ПРИНЦИП РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Объем и размерность баз данных при проектировании сложных объектов ставит задачу сжатия и обобщения информационного поля по показателям состояния конкретного элемента системы. Свертка таких показателей подразумевает наличие некоторых интегральных мер, которые могут служить базовыми оценками каждой производственной операции (работы) на ограниченном пространстве их возможного проявления. К таким мерам в производстве традиционно относят время и ресурсы. Шкала времени задает длительность выполения операции и дискрет контроля ее состояния. Шкала ресурсов определяет необходимые затраты на осуществление заданной операции в функции времени [1]. В работе предлагается подход к моделированию процедуры оценки состояния объекта управления на базе теории интегральных характеристик.

Линейное выполнение (последовательность) операций возможно только для простейших процедур в последовательном технологическом цикле производства. Реально же каждая

© Арефьев И. Б., Коровяковский Е. К., 2016

технологическая процедура имеет определенную последовательность операций с целью создания конкретного изделия. Например, операции изготовления вала, резьбы, накатки, насадки винта, блокировки крепления винта формируют процедуру производства движителя судового комплекса. Таким образом, решается одна из задач логистики (комплектации) судовых силовых установок, которая включена в комплекс (технологический блок) «Постройка судна». Для управления такими блоками и служит Общая информационная база производственного процесса (рис. 1).

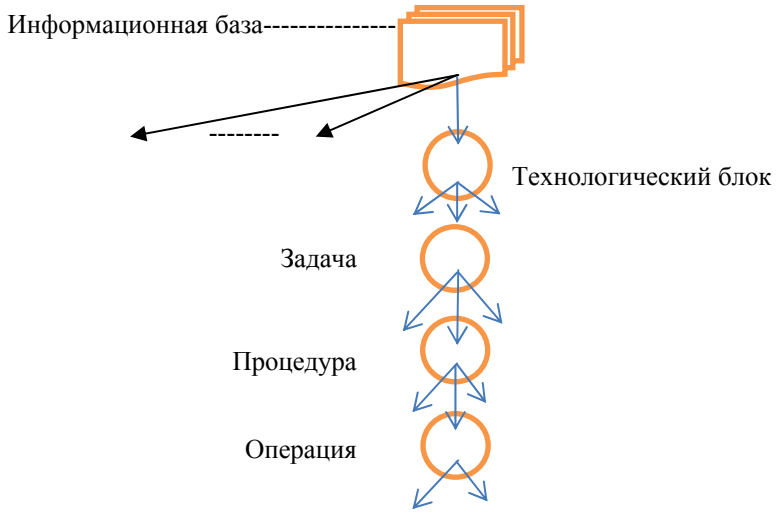


Рис. 1. Элементаризация базы данных формирования объекта управления

Однако рост размерности баз данных в современных САПР, связанный с кибернетизацией проектирования на всех уровнях, и прогресс в развитии методов композиции и декомпозиции проектируемых объектов потребовал уже на дофор-мальном уровне формировать представление о проектируемых

объектах последовательностью причино-следственных отношений. Такие процедуры наиболее полно описываются графоаналитическим аппаратом типа «дерево» и «цепочка», а сами процессы проектирования достаточно полно представляются древовидными структурами и ориентированными направленными графами по типу моделей системы PERT [2; 3]. В основе таких моделей лежат достаточно простые элементы типа «время — ресурсы» (рис. 2).

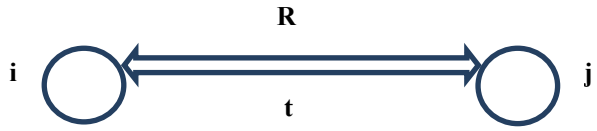


Рис. 2. Схема элементарной производственной операции **ij**:
R — ресурс, необходимый для реализации операции;
t **—** время выполнения операции

Основываясь на этих утверждениях, для объектов различной сложности и назначения удалось разработать методологию проектирования, которая легла в основу направления, получившего название «логико-рефлексивное моделирование» [1; 2]. В этих целях предлагается использовать линейный алгоритм принятия решения, последовательно декомпозирующий общепринятые понятия «от сложного к простому»:

1. **Метаязык.** Методология графо-матричных отношений.
2. **Предмет в языке.** Описание маршрутов выбора решений.
3. **Подъязык.** В качестве исходного подъязыка будем рассматривать методологию представления информации в виде матриц и списков L^0.
4. **Рефлексия неадекватности.** Определение избыточности межэлементных связей. Подъязык L^o для цепей и деревьев неадекватен в следующих отношениях:

а) значительная избыточность;

б) не определена односвязность событий (элементов);

в) не учитывается, что все вершины цепи, кроме граничных, связаны;

г) игнорируется условие отношения ребер и вершин — количество ребер *(q)* и вершин *(p)* связано отношением $p = q + 1$.

5. **Снятие.** Эта процедура заключается в выявлении противоречий форм подъязыков в своей предметной области и построения новых, более адекватных семантических форм перевода внешних разрешающих структур (A) во внутренние (in A) для сниятия их в семантических валентностях новых структур.

Последняя процедура наиболее трудоемка в силлогизме и распадается на ряд операций: расширение по разметке (без ограничения на одномерность), выбор таких разметок цепи, что подобные ребра будут размечаться одинаково **(а,в)**. Ясно, что при этом по-разному будут размечены граничные вершины **(а)** и **(в)**, а все промежуточные приобретут индекс **(ав)**. Тогда получим унграф G^1:

$$G^1 : V : a, b, ab \times (p-2);$$
$$X : (a, b) \times q.$$

Такой граф можно элементаризовать в цепь с ***p*** вершинами и ***q*** ребрами. При этом все негранничные вершины связаны с левой по индексу ***b*,** а с правой — по индексу ***a*** (рис. 3).

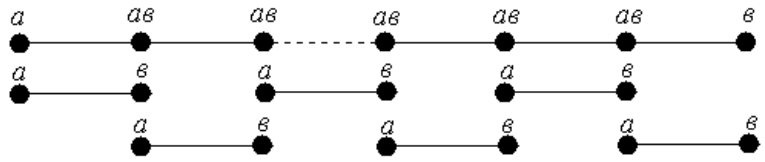


Рис. 3. Схема унграфа G^1

6. **Разметка.** В древовидных структурах можно выделить три типа вершин: висячие, промежуточные, узловые. Если мы условимся размечать все неизоморфные между собой висячие

вершины и узлы по-разному, то все промежуточные вершины будут размечены в соответствии со своими граничными точками, которыми и будут висячие вершины и узлы.

Используем обычное расширение по разметке для изоморфных вершин. В таком варианте дерево **G** можно представить, как показано на рисунке 4:

$$G : V : \{a; ab \times z; b; c \times 2; d \times 4\};$$
$$X : \{(a,b) \times 3; (b,c) \times 2; (c,d) \times 4\}.$$

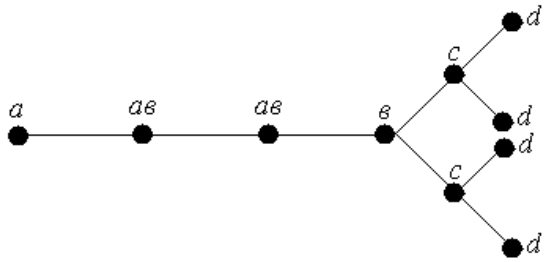


Рис. 4. Расширение по разметке древовидного графа G

Для однозначной минимизации необходимо выяснить, будут ли в нашем случае однозначным многомерные разметки. Отметим, что многомерные разметки касаются только цепей, так как все непромежуточные вершины размечены по обычному одномерному расширению. Для утверждения данного положения доказана теорема [3]. Из доказательства видно, что данный граф L^1 (G^1) есть дерево, так как для него $\mathbf{p = q + 1.}$ С другой стороны, у него всего две граничные вершины ***(a,b)***, тогда он есть цепь. Очевидно, что полученное дерево будет элементаризованным. Для задания **G** достаточно, чтобы в G_1 все вершины были размечены по-разному. Однако можно выбрать разметку ряда вершин из G_1 исходя очевидности их задания: $b \to (ad), c \to (ab)$). Следовательно, возвращаясь к **G**, получаем трехмерную разметку (рис. 5).

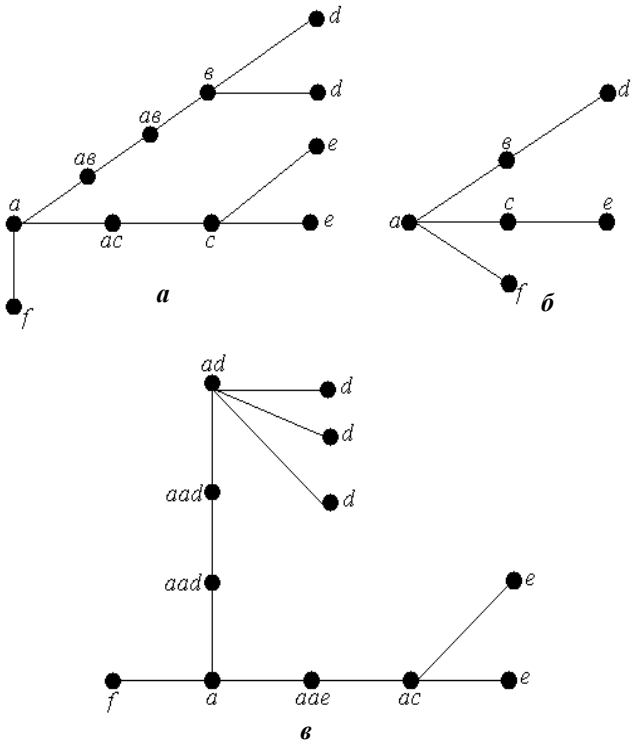


Рис. 5. Соответствие графа ***G*** древовидной структуре $\boldsymbol{G_1}$:
а — исходная разметка графа; *б* — композиция ребер (операция);
в — трехмерная разметка графа

7. **Реализация.** На этом этапе поставленная задача решается средствами нового подъязыка.

Нетрудно видеть, что логическое соединение групп операций **«d** и **e»** образуется в любой технологической операции структуру типа «граф» ориентированного направленного типа. Такой граф можно интерпретировать дизъюнктивно — конъюнктивно нормальной формой или распределением в показателях системы PERT, широко применяемых в логистике.

Действительно, если найти новые связи унграфов между выделенными вершинами, то получим многосвязный граф, где исходным событием **a** будет начало производственного процесса, а конечным — событие **e** — окончание процесса. Тогда мы приходим к многомерному связному графу, композиция ребер которого на отрезке **ae** может рассматриваться как самостоятельное ребро или операция (**a,e)**. Внутренняя структура такой конструкции описывается сетевой моделью типа PERT. При моделировании заданного процесса нам необходимо переходить на новый подъязык, за который может быть принят язык графо-матричных отношений [3; 4].

Следовательно, любую технологию, имеющую в основе своей представление последовательности операций в виде причино-следственных отношений, сочетание которых формирует процедуры, дает право утверждать, что мы приходим к композиционной модели реализации задачи в языке системы PERT. Гиромат объединения задач производства (проектирования) изделия складывается в технологическом блоке (рис. 6).

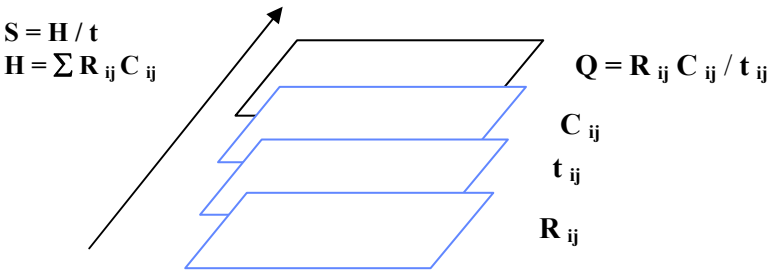


Рис. 6. Гиромат выполнения технологической процедуры **H** $_{ij}$:
R $_{ij}$ — объем ресурса, необходимого для выполнения операции **i** – **j**;
C $_{ij}$ — стоимость реализации операции **i** – **j**;
t $_{ij}$ — время выполнения операции **i** – **j**; **Q** — скорость потребления ресурса для операции **i** – **j**; **H** — стоимость выполнения процедуры **H** $_{ij}$;
S — скорость потребления ресурса на уровне выполнения процедуры **H** $_{ij}$

В принципе двумерная разметка сводит задачу логико-рефлексивного моделирования к анализу древовидных структур и их реализацию определенным количеством деревьев меньшего порядка.

Возможны и другие решения, где многомерная разметка древовидных структур приводит к принципиальным новым результатам в упрощении сложной многоуровневой схемы модели причино-следственных отношений. Одним из таких результатов может быть поиск связей между конечными вершинами графа в логистике конкретного производственного процесса. Здесь вполне применима теория интегральных характеристик [5].

Сведем конечные события древовидной структуры к непосредственным логико-рефлексивным связям по их конечным событиям. Данное решение вполне допустимо, если предположить, что каждое конечное состояние обозначенной процедуры, представленной унграфом, формирует задачу проектирования или управления комплексом операционных процедур на последующих уровнях принятия решения задачи. Такое объединение в технологическом блоке приведет нас к ориентированному направленному графу [3; 6].

Нетрудно видеть, что результатом окажется переход при моделировании технологического процесса от графо-матричного языка к языку интегро-дифференциального счисления. Такой переход иллюстрирован на рисунке 7.

В этой ситуации графо-матричное представление процесса можно трансформировать в интегро-дифференциальное счисление по примеру функционала:

$$R = \int_1^N r(t)dt ,$$

где r(**t**) — скорость потребления ресурса **r** в процедуре операций **i** данной сетевой модели.

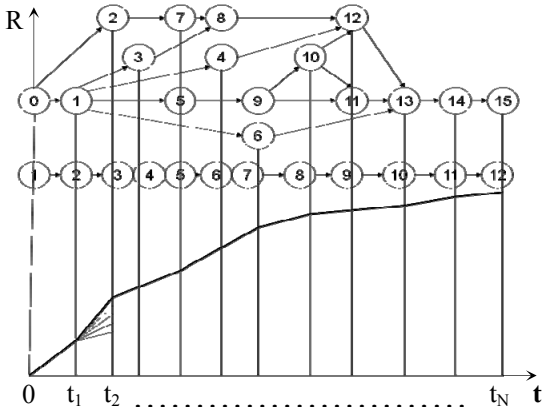


Рис. 7. Формирование интегральной характеристики процедуры изготовления изделия на базе комплекса операций

Учитывая, что время выполнения конкретной операции при том же самом ресурсе может изменяться в некоторых пределах ($\mathbf{t_i \leqslant t \leqslant t_{i+1}}$), получим расходящуюся графо-матричную модель (рис. 8). Интегральная характеристика **I** будет соответствовать реальному процессу выполнения комплекса операций, а характеристика **II** — теоретическому (эталонному) представлению.

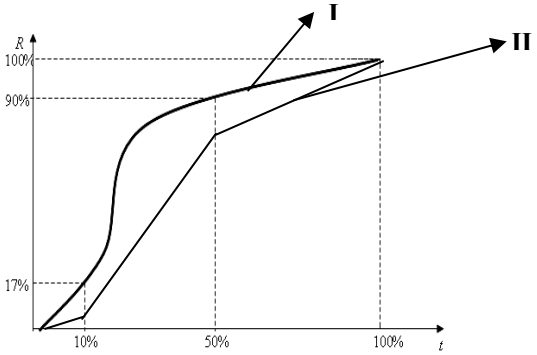


Рис. 8. Прогнозирование состояния производственного процесса постройки судна проекта 576 (река-море)

Проблемная ситуация будет численно оценена как разница по показателю ресурса (проблемная ситуация 1-го рода) либо на выбранном дискрете времени (проблемная ситуация 2-го рода). Идентификация $ПС_1$ и $ПС_2$ показаны на рисунке 9.

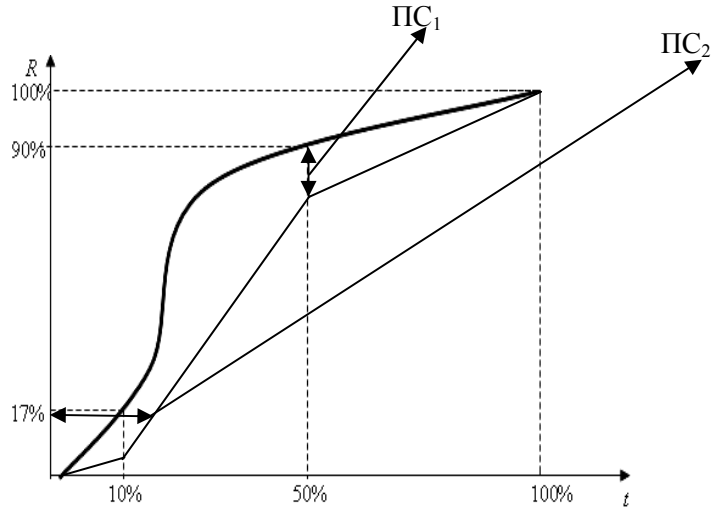


Рис. 9. Прогнозирование состояния производственного процесса постройки судна проекта 576 (река-море)

Метод распознавания проблемных ситуаций на базе интегральных характеристик позволяет за минимальное время дать базовую оценку состояния объекта управления по генеральным параметрам ситуативных отношений, принятых в Общей теории систем: время — ресурсы.

Дальнейшая идентификация и детализация любого набора параметров состояния объекта может только уточнить, дополнить или исключить процедуру принятия решения. Любое неприятие такой оценки приведет к пересмотру исходной базы данных о состоянии объекта, к дополнительным процедурам уточнения этих данных известными методами [7] (модифика-

ция технологических схем изготовления продукта, набор статистических данных и т. д.). Указанные позиции потребуют значительных затрат и времени на их реализацию.

Предложенный подход позволяет достаточно просто распознавать проблемные ситуации в логистических системах выполнения комплекса операций, построенных по принципу время-ресурсы [8]. Интегральные характеристики служат формальной основой идентификации таких ситуаций, их оценки и прогнозировании состояния объекта с целью принятия решений по управлению.

Список литературы

1. *Арефьев И.Б.* Прогнозирование и контроль состояния объекта управления в среде системы PERT (метод интегральных характеристик). СПб. : СЗТУ, 2010.

2. *Арефьев И.Б.* Логико-рефлексивное моделирование технологии изготовления промышленных деталей // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика : материалы 1-го международного симпозиума. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. Ч. 1. С. 189—197.

3. *Арефьев И.Б.* Логико-рефлексивное представление моделей древовидных структур // Системный анализ в проектировании и управлении. СПб. : Изд-во СПГТУ, 2014. С. 56—60.

4. *Карпов А.В.* Психология рефлексивных механизмов деятельности. М. : Изд-во ИП РАН, 2004.

5. *Arefyev I.* Logistics model of transport unit with stores Polish journal of environmental studies. 2007. Vol. 16. 6B. P. 23—26.

6. *Nagel E., Newman J.* Gödel's proof // Scientific American. 1956. Vol. 194(6). p. 71—86.

7. *Макаров Л., Коровяковский Е., Пимоненко М. и др.* Информационные технологии и транспортная логистика. СПб. : Изд-во СПбГУТ, 2014.

8. *Коровяковский Е.К., Лобко И.В., Симушков А.М.* Комплексный подход к организации взаимодействия в транспортных системах // Железнодорожный транспорт. 2012. №8. С. 63.

Д. В. Березкин[1], В. И. Терехов[2]
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: [1]berezkind@bmstu.ru, [2]terekchow@bmstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОГНИТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ГРАНИЦ

Один из способов быстрого анализа обстановки и принятия обоснованного варианта решения для широкого спектра практических задач — визуальное представление лицу, принимающему решение (ЛПР), необходимой для этого информации. Эта информация должна учитывать различные факторы и характеристики исследуемого процесса или явления, в качестве которых могут выступать: плотность населения, рельеф местности, гидрография, растительный покров и грунты, населенные пункты, дорожная сеть, промышленные, сельскохозяйственные, социально-культурные объекты и т. д. Как показывается в [1], представляемая ЛПР информация должна носить в основном визуальный характер — в виде графического представления, с тем чтобы ее восприятие и обработка привели к резкому сокращению времени анализа и, соответственно, времени принятия обоснованного варианта решения.

Кроме того, требования к точности и объему исходных данных существенно зависят как от этапа принятия решения, так и от управленческого звена, в котором оно вырабатывается. Чем выше уровень ЛПР, тем более обобщенная и усредненная информация необходима для принятия обоснованного варианта решения, при этом происходит существенный сдвиг от количественного к качественному обоснованию решения. При этом качественное решение значительно лучше и проще поддается визуализации, чем количественное, обеспечивая оперативность принятия решения при сохранении его достоверности [2].

В качестве одного из методов анализа исходных данных и принятия обоснованного варианта решения на основе визуализации актуальной информации в геополитике авторы предлагают использовать метод анаморфирования [3].

© Березкин Д. В., Терехов В. И., 2016

Рассмотрим такой подход подробнее. В современной геополитической науке [4] понятие географической границы трактуется не как пограничная линия, а как пограничная зона — «полоса, имеющая ненулевой пространственный объем». При компьютерном моделировании геополитических процессов планетарного и континентального масштаба необходимо определять, какой объем береговых зон Евразии попадает под контроль США и влияние каких стран усиливается или ослабевает в этих районах. Объем береговых зон на разных стратегических континентальных направлениях, согласно работе [4], рассматривается как потенциал военных угроз России, который может быстро возрастать в этих районах за счет оперативной переброски мобильных сил США.

Такое расширенное понятие географической границы, которое будем далее именовать геополитической границей, сохраняет свое значение и на региональном уровне [4]. Геополитическая наука рассматривает границу между отдельными государствами как «зону переменного объема», величина которой зависит от общей политической континентальной динамики и локального регионального доминирования. Понятие «геополитическая граница», которое в ряде работ называется «стратегическая граница», может охватывать не только приграничные области отдельных государств, но и целые государства. Такое расширенное понимание геополитических границ соответствует понятию «санитарный кордон». Примером политики, в которой это понятие активно используется, может служить расширение НАТО на Восток.

Компьютерное моделирование изменений геополитических границ позволяет выявить и наглядно представить для политиков и ЛПР в области стратегии развития государства потенциал и направления угроз безопасности России. Понимание таких угроз даст возможность выработать меры по их предотвращению за счет военных и невоенных мер.

В качестве средства такого моделирования предлагается использовать метод анаморфирования [5], относящийся к когнитивной компьютерной графике, которая, в свою очередь, принадлежит методам вычислительного интеллекта (ВИ) [6].

Сущность метода анаморфирования состоит в том, что графическая часть решения (исходный визуальный образ), построенная в евклидовой метрике, преобразуется (анаморфируется) на основе выбранных показателей в некоторый двумерный графический образ. Внутренняя структура данного графического образа изменяется так, что распределение выбранных показателей становится равномерным при сохранении топологического подобия с исходным графическим образом [7].

Первые алгоритмы анаморфирования [5], разработанные до 1985 г., имели ряд существенных недостатков. Алгоритм, устраняющий большинство из них, был предложен в работе [8]. В нем рассмотрена ситуация, когда на бесконечной плоскости имеется ограниченная область (для простоты можно предположить, что эта область имеет форму круга), на которой плотность распределения показателя отличается от средней по всей плоскости (на остальной части плоскости плотность совпадает со средней). При анаморфировании сдвиги точек меньше для тех из них, которые расположены дальше от указанной части плоскости. В [5, с.78] показано, что при таком определении влияния ячейки на вершины, которое уменьшается с увеличением расстояния, рассматриваемый алгоритм будет сходиться быстрее. В качестве ячеек используются любые связанные области произвольной формы. Если расстояние от центра ячейки до вершины больше, чем $\sqrt{s_i / \pi}$, где s_i — площадь i-й ячейки, то влияние ячейки на эту вершину обратно пропорционально расстоянию. Длина вектора сдвига вершины под влиянием ячейки, расстояние от центра которой r, равно $(R_i - \overline{R}_i)\ R_i / r$, где $R_i = \sqrt{s_i / \pi}$, $\overline{R_i} = \sqrt{\overline{s_i} / \pi}$, $\overline{s_i}$ — площадь, которую ячейка должна иметь на анаморфозе в соответствии с плотностью распределения рассматриваемого показателя ($\overline{s_i} = s_i \cdot \rho_i / \overline{\rho}$, где ρ_i — плотность показателя в ячейке i, $\overline{\rho}$ — средняя плотность показателя по всей территории). Если расстояние от центра ячейки до вершины меньше

$\sqrt{s_i/\pi}$, то зависимость влияния от расстояния выбирается так, чтобы она была дифференцируемой для всех $r > 0$.

Дальнейшие исследования [5] привели к разработке такого варианта алгоритма построения анаморфоз, который эффективно работает в режиме реального времени. При этом был построен инвариантный алгоритм, результат которого мало зависит от произволов при его реализации. Если в качестве общего числа ячеек *N* принимаются связанные области произвольной формы, граница каждой из которых описана вершинами, то влияние любой ячейки на рассматриваемую вершину можно определить, исходя из следующих соображений [5].

Пусть произвольная ячейка имеет площадь:

$$s_i = 0{,}5 \cdot [(x_{i1} - x_{i2})(y_{i1} + y_{i2}) + \ldots + (x_{i(n-1)} - x_{in})(y_{i(n-1)} + y_{in})],$$

а $\rho_i(x, y) = \rho_i$. В случае анаморфирования она должна быть преобразована таким образом, чтобы ее площадь стала равной $\overline{s_i}$. Предположим, что ячейка имеет форму круга радиуса $R = \sqrt{s_i/\pi}$. В результате естественного анаморфирования с помощью гомотетии этот круг переводится в круг радиуса $\overline{R} = \sqrt{\overline{s_i}/\pi}$, сохраняя значение показателя по всей остальной площадной фигуре. Возьмем полярную систему координат с началом в центре круга, в ней анаморфирование осуществляется при переводе вершины (r, φ) в вершину $(\overline{r}, \overline{\varphi})$

$$\overline{r} = \begin{cases} (\overline{R}/R) \cdot r \ \textit{при}\ r \le R \\ \sqrt{r^2 + (\overline{R}^2 - R^2)}\ \textit{при}\ r > R \end{cases},$$

где $\varphi = \overline{\varphi}$, r — расстояние между рассматриваемой вершиной многоугольника и центром влияющей ячейки.

Влияние центра одной ячейки на любую вершину другой ячейки выражается в сдвиге этой вершины на расстояние $r \cdot (\overline{R}/R - 1)$ при $r \le R$ и $\sqrt{r^2 + (\overline{R}^2 - R^2)} - r$ при $r > R$. Это влияние описывается радиус-вектором вершины многоуголь-

ника $\vec{v}$ с началом в центре ячейки, умноженным на коэффициент $(\overline{R}/R-1)$ при $r \le R$ или $\sqrt{1+(\overline{R}^2-R^2)/r^2}-1$ при $r > R$. В качестве центра ячейки может выбираться ее геометрический центр или точка пересечения медиан — центр тяжести многоугольника и т. п.

Поскольку невозможно получить преобразование, дающее требуемую анаморфозу явно, за один шаг, переходят к итерационным процедурам, которые на каждом шаге учитывают отклонение плотности от постоянной на всей площадной фигуре, и изменяют ее соответствующим образом. Необходимо отметить также и следующий момент: алгоритм анаморфирования может работать с несколькими показателями различной физической природы, сводя их в интегрированный показатель анаморфирования [7].

Подводя итог вышеизложенному, можно сказать, что алгоритм анаморфирования может служить удобным инструментом визуализации актуальной геополитической информации. При этом основной задачей является определение показателей влияния геополитических факторов, которая выше была обозначена как ρ.

Нами были рассмотрены следующие варианты решения данной задачи.

1. Показатели геополитического влияния и угроз задаются экспертом вручную, затем геополитическая карта анаморфируется с учетом введенных показателей и на ней показываются изменения геополитических границ.

2. Строится модель геополитической обстановки (в виде орграфа, сетей Петри, когнитивных карт и других форм представлений), на основе которой определяются показатели анаморфирования.

3. Анализируются сообщения СМИ, социальных сетей, других информационных источников, определяются темы-угрозы, динамика угроз в каком-то регионе и их направленность по отношении к тем или иным странам. На основе этой информации автоматически определяются показатели для построения анаморфозы.

Сравнение этих вариантов решения приводит к следующим выводам.

1. Экспертный метод несет в себе большую долю субъективизма эксперта и является достаточно медленным.

2. Построение модели геополитической обстановки требует немалых усилий не только экспертов данной предметной области, но и привлечения большого числа специалистов, разрабатывающих сложные модели и когнитивные карты, что значительно влияет на время определения показателей анаморфирования.

3. Определение тем-угроз и динамики их изменения в рассматриваемом регионе требует участия эксперта лишь при обозначении списка тем-угроз и последующего этапа автоматического сбора, анализа и нахождения показателей анаморфирования. Очевидно, что третий способ — наименее затратный с точки зрения привлечения различных специалистов, субъективизма экспертов и времени определения показателей анаморфирования. Вопросы реализации необходимых методов, сбора и анализа различных текстовых сообщений в настоящее время проработаны в [9].

На рисунке показано схематичное представление постановки задачи выявления геополитического влияния и итоги анаморфирования, иллюстрирующие изменения геополитических границ в результате этого влияния.

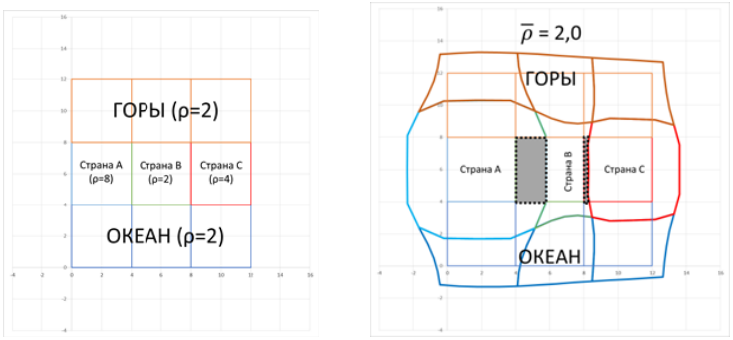


Рис. Анаморфирование объектов с различными показателями

Страна А, имеющая значительное превышение показателя влияния ρ, выступает как «агрессор» по отношению к своим соседям — странам В и С. В итоге изменяются геополитические границы соседних более слабых государств (области, которые выделены на рисунке), в первую очередь за счет самой слабой страны В, которая начинает выступать в роли некоторого «санитарного кордона» между странами А и С. Но и более сильная страна С ощущает на себе влияние «агрессора», что иллюстрируется смещением ее геополитических границ. На рисунке также показано, что предложенная модель учитывает окружающие географические условия (горы и океан) на распространение геополитического влияния стран.

С точки зрения рассматриваемой модели изменения геополитических границ большой интерес представляет обратная задача: определить, какие «силы» надо приложить к ячейкам, изображающим страны, чтобы сместить геополитическую границу в интересующем ЛПР направлении. Для этого можно применить метод обратного анаморфирования [7]. Более глубокая проработка этого вопроса может быть предметом дополнительного исследования.

Можно также отметить, что результаты данного анализа могут использоваться для комплексного анализа геополитической ситуации, например, с применением метода анализа иерархий.

Список литературы

1. *Глезер В.Д., Цукерман И.И.* Информация и зрение. М. : АН СССР, 1961.

2. *Урсул А.Д.* Информация. Методологические аспекты. М. : Наука, 1971.

3. *Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С.* Создание анаморфированных изображений для географических исследований // Вестник Московского университета. Серия география. 1992. №4. С. 43—52.

4. *Сергеев Н.А.* Моделирование и оценка эффективности технического обеспечения : учебное пособие. М. : ВА РВСН им. Петра Ве-

ликого, 2004. Ч. 1: Концептуальные основы разработки системы военной безопасности Российской Федерации в новых военно-политических условиях.

5. *Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С.* Анаморфозы: что это такое? М. : Эдиториал УРСС, 1999. С. 59—63.

6. *Зайченко Ю., Згуровский М.* Системный анализ направлений вычислительного интеллекта // Information Content and Processing. 2014. Vol. 1, №3. P. 220.

7. *Терехов В.И.* Применение когнитивной компьютерной графики для визуализации актуальной информации лицам, принимающим решение // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Приборостроение. 2012. С. 109—119.

8. *Dougenik J.A., Chrisman N.R., Niemeyer D.R.* An algorithm to construct continuous area cartograms // The Professional Geographer. 1985. Vol. 37(1). P. 224—230.

9. *Андреев А.М., Березкин Д.В., Симаков К.В. и др.* Технологии и инструментальные средства автоматизированной обработки электронных текстовых массивов для задачи мониторинга правоприменительной практики // Аналитический вестник Аналитического управления Аппарата Совета Федерации. 2010. №9 (395). С. 64—73.

Г.Б. Бурдо[1], О.В. Стоянова[2]
[1]Тверской государственный технический университет, Россия
[2]Филиал НИУ МЭИ, Смоленск, Россия
e-mail: gbtms@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ АСУ ПРОЕКТАМИ НАУКОЕМКИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Введение

Сегодня в мировом машиностроении и приборостроении сложилась такая ситуация, что требования потребителей предопределяют весьма сжатые сроки появления на рынке новой высокотехнологичной *наукоемкой продукции* (НП). Первоочередная задача проектирования и производства первых образцов новых изделий специфична по ряду причин, отличающих ее от стоящих при производстве серийной продукции и реин-

© Бурдо Г.Б., Стоянова О.В., 2016

жиниринге: 1) особенность структуры жизненного цикла НП (обязательное наличие этапов НИОКР, малый период испытаний, отсутствии этапов эксплуатации, утилизации и т. д.); 2) нечеткость критериев оценки технических и технико-экономических показателей качества продукции; 3) наличие большого числа итерационных процедур при выполнении НИОКР, проектировании и производстве, связанных с высокой неформальностью задач; 4) необходимость параллельного по времени выполнения ряда этапов (НИОКР и *конструкторская подготовка производства* (КПП), НИОКР, КПП и *технологическая подготовка производства* (ТхПП)); 5) изготовление образца НП по новым технологиям, отличным от реализуемых для серийной продукции.

К сожалению, особенность задач не позволяет достаточно эффективно использовать имеющиеся инструментальные средства поддержки решений для процессов создания НП.

Наиболее ответственные этапы при создании НП: 1) *техническая подготовка производства* (ТПП), включающая НИОКР, КПП, ТхПП, и *производственное планирование* (ПП); 2) *изготовление и испытания* (И).

Поэтому разработка *автоматизированной системы управления процессами технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоемкой продукции* (АСУ ТППиИ) востребована машиностроением.

1. Принципы построения АСУ ТППиИ

Выявленные авторами принципы построения АСУ ТППиИ позволяют обеспечивать: а) выполнение процедур принятия решений адекватно процессам, существующим в реальной производственной системе; б) информационную интеграцию с системой управления организацией более высокого уровня; в) встраивание АСУ ТППиИ в автоматизированные системы поддержки жизненного цикла продукции; г) соответствие процедур принятия решений логике человеческого мышления и алгоритмам действия специалистов; д) сокращение суммарного времени (цикла) изготовления образца наукоемкой продукции.

Обоснуем принципы.

1. Принцип соответствия этапов ТПП и И образца наукоемкой продукции этапам жизненного цикла изделия.

Указанный принцип направлен на обеспечение логического и семантического соответствия процедур создания образца НП принятым в организациях типовым процедурам ТПП и обеспечивает поддержку АСУ ТППиИ посредством CALS-технологий [1].

2. Принцип итерационного принятия решений.

Создание НП осуществляется в условиях информационной недостаточности (неопределенности), поэтому одношаговое получение решения, близкого к оптимальному, затруднительно. Эту задачу следует решать итерационно, что укладывается в логику подхода человека к решению сложных задач.

3. Иерархичность системы.

Система (с позиции организации) должна быть четырехуровневой. Высший — первый уровень необходим для управления со стороны руководства организацией и обеспечивает информационную интеграцию с АСУ организацией (АСУП). Второй уровень требуется для управления процедурами ТПП. На третьем уровне иерархии реализуются этапы НИОКР (НИР), КПП, ТхПП, организационной подготовки производства (планирование) и испытания. Учитывая, что изготовление образца изделия осуществляется в производственной системе (ПС), управление которой выполняется по результатам анализа ее текущего состояния [2], а работы проводятся на основе конструкторской и технологической документации, необходимо введение 4-го уровня иерархии — управления, обеспечивающего информационную связь автоматизированной системы с ПС.

4. Определенность функционирования системы.

Учитывая, что система управляет этапами НИОКР, конструкторской, технологической, организационно-управленческой подготовкой производства, то техническое задание (ТЗ) на изготовление опытного образца НП должно содержать соответствующие разделы. Показатели, содержащиеся в данных раз-

делах, должны однозначно позволять оценить завершенность результатов работ по каждому этапу или необходимость их продолжения. В свою очередь ТЗ должно напрямую вытекать из ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске. Значит, в ТЗ должны быть отражены функциональные, технические, эксплуатационные, экономические показатели изделия.

5. Наличие элементов искусственного интеллекта.

Для поддержки принятия ряда решений целесообразно применение методов и моделей знаний искусственного интеллекта [3; 4], что даст возможность сократить суммарное время изготовления образца наукоемкой продукции.

6. Совмещение выполнения работ этапов во времени.

Анализируя логику и содержание работ, выполняемых на каждом из этапов, можно увидеть, что для начала работ на последующем этапе нет необходимости в наличии всей информации, получаемой (выявляемой) на предыдущем. Поэтому работы смежных этапов должны быть совмещены во времени, что отражается во временной структуре работы системы. Например, КПП может вестись параллельно во времени с этапом НИОКР, а отработка конструкции на технологичность (стадия ТхПП) — параллельно с КПП. Таким же образом могут быть совмещены и работы в пределах одного этапа (разработка общего вида, узлов и деталировка при КПП, отработка конструкции на технологичность и проектирование (заказ) оснастки и инструмента, проработка технологий при ТхПП).

7. Производность критериев оценки решений от технического задания и от ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске.

Критерии оценки решений (результативности работ) на каждом из этапов создания нового образца НП должны позволять определять окончание работ по этапу либо продолжение итераций, поэтому они логически и количественно увязываются с ТЗ. Учитывая принцип 4, можно утверждать, что критерии оценки решения на этапах должны логически проистекать из ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске.

Скажем, если при промышленном производстве оцениваются приведенные затраты, то в нашем случае следует оперировать с технологической себестоимостью.

8. Принцип многовариантности.

Для того чтобы расширить пространство поиска технических решений, необходимо обеспечивать вариантность результатов работ в разумной области. При этом речь может идти как о реализации принципиально различных подходах (разные технические системы), скажем, при проектировании изделия или разработке технологий, так и о вариациях их частей (подсистем). Особенно вариабельны должны быть решения на этапах КПП и ТхПП.

9. Принципы формирования критериев оценки решений на этапах.

Учитывая, что речь идет о создании достаточно новых изделий, на уровне лучших мировых образцов, критерии должны быть модифицированы по сравнению с критериями, принятыми при модернизации и модификации и носящими, как правило, минимаксный (1-й вид) или граничный (2-й вид) характер для одного или малого числа изменяемых параметров изделия. Рассмотрим их.

9а. Принцип граничного вида критериев.

В нашем случае критерии вида 1 могут составлять незначительную часть, так как при создании нового изделия изменяется большое число принципиальных параметров изделия, а в математическом аспекте нет доказательства того факта, что сумма локальных оптимумов приводит к глобальному. Поэтому большая часть критериев должна носить граничный характер (не более, не менее, в интервале) и сформирована на основе экспертных оценок.

9б. Принцип относительного вида критериев.

При оценке решений (выполненных работ) большое значение приобретают относительные критерии, полученные при сравнении синтезированных вариантов технических систем, либо сравнением с прототипом (прототипами), находящимся на передовом мировом уровне. Рассмотрим несколько приме-

ров. Увеличение материалоемкости на 15 % как критерий ни о чем еще не свидетельствует. Если при этом выходная мощность изделия будет повышена в 2 раза, то он вполне приемлем. То же самое можно сказать и о затратах при эксплуатации.

9в. Принцип комплексности критериев.

Общая оценка изделия должна выполняться комплексными критериями, производными от критериев, применяемых на каждом этапе.

Увеличение сложности изделия, его конструкторской иерархии — не самый лучший случай, если брать во внимание лишь конструкцию. Но он может позволить соблюсти принцип агрегатирования, упростив планирование промышленного выпуска изделий, упростить и удешевить его сборку и техническое обслуживание.

2. Теоретико-множественная модель автоматизированной системы управления процессами технической подготовки

Разработанная на основе выявления структуры и функций процедур, выполняемых при создании НП, теоретико-множественная модель [5] АСУ ТППиИ показана на рисунке.

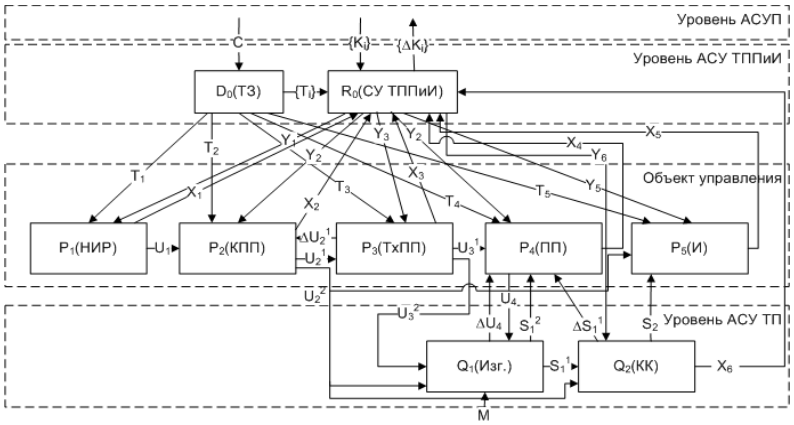


Рис. Теоретико-множественная модель АСУ ТППиИ

Модель имеет четыре уровня иерархии.

Первый уровень — автоматизированная система управления организацией (предприятием) — АСУП. АСУП определяет функционирование автоматизированной системы управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППиИ). АСУП задает целевую функцию для АСУ ТППиИ, включающую множество критериев А оценки выполнения каждого из этапов ТППиИ

$$\mathrm{A} = F(K),$$

где $K = \{K_i\}$ — множество показателей результативности каждого из этапов.

Второй уровень — уровень управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППиИ), представлен операторами D_0 и R_0.

Оператор D_0 (блок задания) формирует множество технических заданий $ТЗ = \{T_1, T_2, ..., T_5\}$ для каждого из этапов процесса ТПП и И и имеет пять функций (в связи с ограниченностью объема статьи функции здесь и далее детально не приводятся). Оператор R_0 управляет работой на всех этапах создания образца наукоемкой продукции. Он реализует семь функций.

Третий уровень — уровень реализации основных этапов ТППиИ, представлен операторами P_1 — P_5 (12 функций).

Четвертый уровень — уровень управления технологическими процессами (АСУ ТП). Он представлен операторами Q_1 и Q_2 (шесть функций).

Анализируя данную модель, можно отметить следующее.

1. В модели воздействиями Y_1 — Y_5 определяется завершение работ по каждому этапу или формирование итерационных процедур (см. принципы 2 и 5).

2. Учитывая, что для стадии последующего этапа требуется лишь часть информации предыдущего, возможно совмещение работ разных этапов во времени (см. принцип 6).

3. Показатели $\{K_i\}$ и производные от них критерии логически увязаны с техническим заданием для каждого этапа $\{T_i\}$ (см. принцип 7).

4. В модели отсутствует дублирование функций, что обусловливает определенность решений (см. принцип 4).

5. Иерархичность и смысл процедур соответствуют иерархии принятия решений при управлении производственными системами в машиностроении (см. принцип 3).

6. Состав этапов, управляемых АСУ ТППиИ, вписывается в логику структуры жизненного цикла машиностроительных изделий (см. принцип 1). Реализацию остальных принципов необходимо выполнять при разработке моделей и алгоритмов принятия решений в АСУ ТППиИ.

Заключение

На основе правил преобразования информации операторами модели и обмена ею, с учетом выше обозначенного принципа 6, была разработана модель временной структуры функционирования АСУ ТППиИ.

Указанные модели (теоретико-множественная и временной структуры) стали основой для разработки методов и алгоритмов принятия решений в автоматизированной системе. Опыт их апробации показал их адекватность процедурам принятия решений при создании образца НП, исключил излишние работы и сократил сроки создания нового изделия.

Список литературы

1. *Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф. и др.* Управление жизненным циклом продукции. М. : Анархист, 2002.

2. *Бурдо Г. Б.* Интеллектуальные процедуры планирования и управления в производственных системах геофизического приборостроения // Программные продукты и системы. 2011. №3(95). С. 107—110.

3. *Рыбина Г. В.* Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М. : Финансы и статистика ; Инфра-М, 2010.

4. *Еремеев А.П., Куриленко И.Е.* Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени // Интеллектуальные системы : коллективная монография. М. : Физматлит, 2010. Вып. 4. С. 222—252.

5. *Месарович М., Такахара Я.* Общая теория систем: математические основы. М. : Мир, 1978.

M. Yu. Doshchanova
TUIT, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: malikadoshanova@mail. ru

THE USE OF MODERN METHODS OF ROAD SAFETY ON THE BASIS OF AUTOMATIC RECOGNITION SYSTEMS

Introduction

The article discusses various approaches to the construction of the automated systems of recognition and commit violations of traffic rules, different methods and algorithms for the detection of vehicles in the video, as well as hardware such systems.

The decision of problems of growth disorders can be clear, impartial, non-stop control of the carriageway. You must identify each violation, and not leave it unpunished. It is this function is assigned to the automatic registration system of traffic violations.

1. Principles of systems

The present level of development of video analysis technology provides a new look at safety on the roads. It is now widely used automated systems based on radar radio to determine the overspeed and video to secure the offender and license plate recognition. Disadvantages of such systems are well known: they are detected "trap warning" and can produce incorrect results in the Travel section of the road at the same time several cars.

© Doshchanova M. Yu., 2016

To overcome the lack of a second radar mounted above the roadway and tilted downwards at a sufficiently large angle. As a result, the lane can be distinguished small "spot", after the passage of which produces radar speed vehicle. In case of exceeding the speed limit of the car is made image recording and recognition of his license plate. With this organization, the system error probability is minimized.

There are also systems for the determination of well-defined types of violations:

— crossing double solid and solid;

— prohibited turn and banned travel on;

— departure on a counter;

— running a red light;

— parking in the wrong place.

For example, to determine the intersection of continuous dividing line in the area of the carriageway a stationary video camera software to recognize numbers. The camera has a small viewing angle is aimed at the middle of the parting line so as to not fall into the frame numbers of vehicles traveling along its lane. Thus, any number of recognized necessarily belongs to the offender. Here are the disadvantages of this type of system:

— specialization, the list defined by the intersection of continuous violations is limited, improper rebuild, overtaking is prohibited;

— capture of a very small section of the road (5 m), which is quite critical for some types of violations;

— high demands on the amount of equipment to cover the extended section of the road is necessary to install several cameras.

Thus, this approach is justified in small areas of the road, which often occur offense. What to do if you want to fix the violation traffic rules on longer sections and installed at the same time a lot of expensive equipment?

The solution of this problem was made possible by simultaneous progress in the field of machine vision and technology. Mod-

ern video analysis algorithms allow real-time video stream recovered from the vehicles and analyze their movements. On the technical side, needed camcorder capable of day and night and in all lighting conditions to give a clear and precise image and quick turning device for the camera pointing at the offending number for subsequent recognition.

Consider a system consisting of a stationary video camera to detect violations of traffic rules, video cameras, equipped with a rotary device for pointing to the number of the offender and its recognition as well as a conventional personal computer, which analyzes the traffic situation, identification numbers and calculates the required position of the PTZ camera.

2. The analysis of road conditions

Thus, stationary video camera mounted above the carriageway on a pole or a building in such a way as to cover the interest section of the road. The image from the camera is fed to a computer for analysis of the current traffic conditions [1]. Analysis takes place in four phases:

1. Isolation on every frame of road (object of interest): cars and pedestrians.
2. The inter-frame tracking of objects found.
3. Analysis of the behavior of road users, in accordance with the restrictions of traffic rules in force on the road segment.
4. In case of violation of the supply in question, as well as predicting the future position of the offender at the scene.

Let us consider each of these points. To highlight the detection of vehicles and pedestrians, there are many methods and algorithms:

— methods based on background subtraction algorithm and the subsequent segmentation and recognition areas foreground (background subtraction and blob tracking);

— algorithms based on direct detection of objects, such as a method for amplification of weak classifiers (boosting), first proposed by Viola and Jones, support vector machine, neural network techniques, etc.;

— allocation of the image and the subsequent segmentation of some singular points (feature points), who have local variations of the brightness gradient and other characteristics that contribute to their identification in subsequent frames. Such points are tracked using different algorithms: the analysis of the optical flow, SIFT, SURF, etc.;

— contour analysis, allowing to search for the image contrast border areas (eg, Canny edge detector) and analyze them.

All of these methods of groups have their advantages and disadvantages and can be used in combination [2]. However, the final algorithm must fulfill the following requirements:

— n stable performance in difficult weather conditions (snow, rain);

— clipping of shadows;

— clipping headlights in the dark;

— invariance lighting;

— compensation frame jitter.

In specific terms may be added to other specific requirements. For example, the ability to work without artificial light at night or the ability to analyze the images coming from the imager.

Interframe binding to a greater extent depends on the detection algorithm road. This may be based on a comparison of the size, shape, color histograms, and other characteristics of object descriptors. It is important to note the need to resolve collisions in visual images of objects overlap. For example, do not lose the car, who has disappeared for a while for the bus.

Separately, it is worth noting how smooth the path or post-processing of the detected objects. Two main ways: linear filtering using a Kalman filter (Kalman filter) and non-linear filtering with the slice filter (particle filter). Kalman filter is simpler and has lower computational complexity and is ideal for processing paths on straight stretches of road, as well as areas with constant curvature. Kalman filter can also be used to control the size of the car followed.

Non-linear filtering applied in the case of complex motion. For example, the fragment filter is used to automatically monitor the players on the field.

Analysis of the behavior of road users is carried out in accordance with the restrictions imposed by the traffic rules in the controlled area of the road. Restrictions imposed by the system administrator together with the traffic officer. Form set restrictions from system to system, usually do not vary, and includes coating the image with a fixed camera:

— boundaries of the carriageway;
— lanes and direction of movement;
— markup (intermittent, continuous, double continuous);
— direction of rotation of prohibited and banned travel;
— prohibited parking area;
— sensor settings, signaling the change of the traffic light.

When analyzing the trajectory of road system takes into account the restrictions imposed in the event of violation reports a violation and its parameters. Parameters (characteristics) violations are divided into external and internal. The external parameters are: type, time detecting violations.

Internal Features include current position on the frame, the type, speed, size, and future predicted, the coordinates of the object, given the nature of its movement. Prediction of coordinates can be performed on the basis of information about the violation (for example, at the exit into the oncoming car is guaranteed for some time, and will move in a straight line with uniform acceleration), and using various mathematical methods (regression analysis, time series analysis, etc.).

Recognition of the offending numbers

These coordinates are the future position of the vehicle is needed to restore the PTZ camera on the offender and license plate recognition.

To convert the two-dimensional image coordinates (row and column pixel) in three-dimensional coordinates of PTZ (pan, tilt,

focus distance) must be some way to establish a correspondence between the two. To find such a correspondence using internal and external calibration chambers, the mechanism of which is known and described in detail, in practice, in all textbooks on computer vision.

Since the offending vehicle can move with a sufficiently high speed, the camera rotating mechanism must provide the highest possible pointing speed. Today, virtually every rotary device satisfies this requirement. An additional condition when choosing the rotator is to support getting and setting coordinates for guidance. Such a possibility exists, for example, devices that support Fastrax protocol family.

Problems arise with enough quick camera focus on a passing room with high machine speed: slow zoom, autofocus flaws lead to a blurring of the hotel, which greatly reduces the likelihood of a successful recognition. In connection with the above, you need to disable the properties camcorder autofocus and set its value programmatically. You must also correctly configure the speed of the electronic shutter of the camera, the image was both clear and not too dark. And given the need for rapid optical view, the choice of a suitable camera becomes a non-trivial task.

An image of the long-awaited offending vehicle. It is time to begin to recognize numbers.

The use of brightness and contrast filters and noise reduction filters intended solely to increase the probability of finding the area of a number on the frame. This normalization of brightness and image contrast enhancement are built mostly on the histogram analysis. Noise is usually limited except white Gaussian noise. These algorithms are very simple and well described in the literature.

To search for a number in the picture there is a lot more options, each of which has both advantages and disadvantages:

— search boxes and / or parallelepipeds certain proportion using Hough transform (Hough transform);

— search areas in color and texture;

— large-scale wavelet analysis;
— use of classifiers (Adaboost, SVM, etc.);
— wildcard search (the size of state license plates are known).

As the numbers on the frame size is unknown, as well as the location of the plane numbers relative to the focal plane of the camera, it is necessary to make the alignment procedure. As already known coordinates of the four corners of the provisions of accommodation and an ideal location known non-recognition, it is possible according to the correspondences to find a 3x3 homography matrix. With the help of the found matrix, we transform each pixel is found distorted numbers, resulting in a rectangular plate number, ready for further processing.

Binarization Image number needed to separate the background and characters. Since the background color and lighting rooms in advance not known, Otsu method should be used to determine the binarization threshold. The operation of mathematical morphology — opening with a rectangular kernel will allow to separate the adjoining areas belonging to individual characters.

To segment numbers on the symbols can be used as a simple iterative algorithm, k-means, or any other, more complex.

3. Creating a protocol

All characters are recognized, the number is obtained, it is necessary to write the protocol and send the offender. What data are required for it from our system? It turns out that it depends on the type of latching disorders. It is obvious that for all breaches need to know the place and time of fixing, as well as the recognized number. Consider disorders and various types of data necessary for each of them.

Information about the car owner is taken from the database.

1. The intersection of the solid and continuous double: a frame with a fixed camera, made in the time of the infringement applied to it the trajectory vehicle; frame with PTZ camera, from which the non recognition; the recognized number in text form; time, date and place of violation.

2. Prohibited turn and banned travel right: a frame with a fixed camera, made at the beginning of a prohibited maneuver deposited thereon trajectory vehicle; Frame with fixed camera made by violation with deposited thereon trajectory vehicle; frame with PTZ camera, from which the non recognition; the recognized number in text form; time, date and place of violation.

3. Check into the oncoming traffic and reverse: a frame with a fixed camera, made in the time of the infringement applied to it the trajectory vehicle; frame with PTZ camera, which produced non recognition; the recognized number in text form; time, date and place of violation.

4. How to get to the red light: a frame with a fixed camera, made in the time of the infringement applied to it the trajectory vehicle; frame with PTZ camera, which produced non recognition; the recognized number in text form; time, date and place of violation.

5. Parking in the wrong place: frames with fixed and PTZ cameras, taken at the time of initial detection of a vehicle in the parking area of the forbidden; frames with fixed and PTZ cameras made after 5 minutes after discovery of the vehicle; frame with PTZ camera, which produced non recognition; the recognized number in text form; the vehicle detection, flow time permitted stop, date and place of violation.

In addition to the above items, for the more weighty evidence can be conducted archival video from cameras at the time of detection of violations. In the case of objection in the court system of the results of such video archive will help to ascertain the truth.

Conclusion

Constructing considered automatic locking system of traffic violations was made possible largely thanks to the development of modern methods and algorithms of computer vision and growth performance of personal computers. mathematical methods, software code to compile and technical facilities allow you to create an intelligent system to ensure control over road safety. The system is incredibly flexible and extensible in many ways:

— using only two cameras at the same time possible to fix a range of violations of a fairly long stretch of the road section;

— when installing only additional stationary cameras can be controlled by the way in several ways;

— IP-thanks to the development of technology, the computer may be in close proximity to the camera, and a few kilometers away;

— at night instead of a stationary video camera on a particularly problematic sections of the road, you can use a thermal imager;

— if road conditions permit, you can replace the dome camera on a fixed megapixel.

References

1. *Bradsky G., Kaehler A.* Learning OpenCV. O'Reilly, 2008.

2. *Boyko I. A.* Object recognition based on the video signal obtained from a camera mounted on a mobile platform // Molodoy ucheniy. 2013. №6. (In Russian).

И. А. Кириков[1], А. В. Колесников[2], С. Б. Румовская[3]

[1,2,3]КФ ФИЦ ИУ РАН, [2]БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия

e-mail: [1]baltbipiran@mail. ru, [2]avkolesnikov@yandex. ru, [3]sophiyabr@gmail. com

ВИРТУАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТИВЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ

Введение

Неотъемлемая часть деятельности человека при решении диагностических задач — поиск решений в условиях большого числа факторов, неоднозначности оценки ситуации, ошибок в выборе приоритетов и противоречивости требований [1]. Результаты компьютерной имитации такой деятельности зависят

© Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б., 2016

от научной картины мира управления, психологии, лингвистики, инфокоммуникаций. Однако субъекты научных исследований и проектно-конструкторских работ часто игнорируют актуальность замены своих устаревших взглядов на новую картину мира, из которой следует, что структуре человеческого разума и коллективному интеллекту (КИ) как оригиналам должны соответствовать междисциплинарные подходы, интегрирующие знания по системам поддержки принятия решений (СППР), системам поддержки принятия групповых решений (СППГР), КИ, гибридным и синергетическим интеллектуальным системам, визуальному мышлению и управлению, когнитивной компьютерной графике и инженерии образов.

Анализ проблемной среды сложных диагностических задач показал, что применение известных автономных методологий и технологий [2] искусственного интеллекта недостаточно, актуальны методологии и инструментальные средства, релевантные разнообразию диагностической информации, сотрудничеству, дополнительности и относительности знаний, в частности проблемно-структурная методология разработки функциональных гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) [3], сочетающая методы и методики системного анализа диагностической проблемы с динамическим синтезом метода ее решения, и имитацией в памяти этого метода в работе искусственного гетерогенного коллектива — «виртуального консилиума». Необходимо строить компьютерные системы поддержки принятия диагностических решений с когнитивной составляющей для наглядно-образного отображения как состояния объекта диагностики, так и работы виртуального коллектива — субъекта диагностического процесса, что позволит организовать архитектуры сотрудничества как левосторонних, так и правосторонних механизмов рассуждений.

В настоящей работе рассматривается понятие нового класса интеллектуальных информационных систем — виртуальные гетерогенные коллективы (ВГК), которые комбинируют

методы организации заочного взаимодействия экспертов (коллективного интеллекта, виртуальных коллективов, виртуальных организаций) и методы ГиИС для компьютерного моделирования поиска коллективных решений экспертов — искусственных гетерогенных коллективов. ВГК позволит повысить качество группового принятия решения в сложных диагностических задачах.

1. Сложная диагностическая задача

Диагностика [4] — отрасль знаний, включающая в себя теорию и методы организации процессов диагноза, а также принципы построения средств диагноза как процесса исследования объекта с целью получения результата диагноза, т. е. заключения о состоянии объекта диагноза. В кибернетике диагностика [5] — процесс переработки информации в управляющей системе.

Будем рассматривать диагностику как процесс переработки информации об объекте управления в управляющей системе с целью установления состояния объекта управления, результат которого — заключение о его состоянии. А диагностический процесс — как разностороннее исследование объекта диагностики, выявление и предсказание возможных отклонений показателей состояния объекта диагностики, а также обнаружение дефектов.

При этом диагностическая задача включает контроль состояния и функционирования объекта диагностирования, выявление и локализацию проблем его функционирования и прогнозирование состояния объекта диагностики. На рисунке 1 представлена концептуальная модель сложной задачи диагностики [3] (англ. complex problem), задачи-системы со свойствами гетерогенности, эмерджентности, а также зашумленности и нечеткости исходных данных. Отношения включения «целое-часть» задают состав задачи-системы.

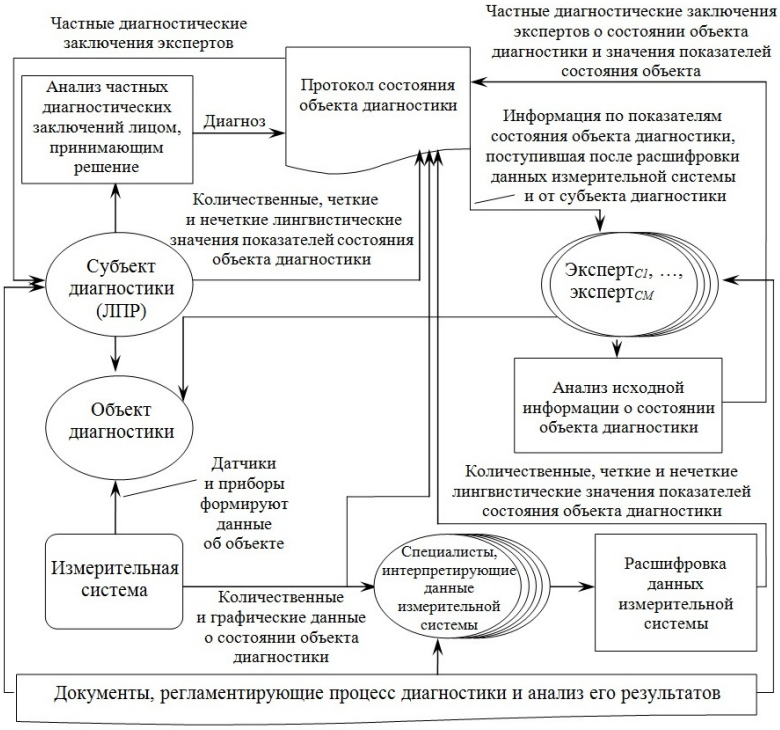


Рис. 1. Концептуальная модель диагностического процесса

Объект диагностики — система, деятельность которой контролируется и анализируется субъектом диагностики. Субъект диагностики — лицо, принимающее заключительное решение (ЛПР) о состоянии объекта диагностики, т. е. формирующее диагноз. Каждый объект характеризуется множеством возможных значений показателей своего состояния или характеристик. Источники исходных данных в процессе диагностики: 1) аппаратура (датчики и измерительные приборы), снимающая значения показателей состояния объекта диагностики в количественном и графическом виде (детерминированные переменные); 2) оператор или ЛПР (субъект диагностики), формулирующий значения показателей состояния объекта диагностики в форма-

те количественных, лингвистических четких и нечетких переменных. Таким образом, исходные данные об объекте диагностики разнородны. В ряде случаев необходима предварительная расшифровка результатов аппаратного сканирования.

Итак, для решения сложной диагностической задачи используются разнородные знания экспертов и субъекта диагностического процесса. Эти знания могут быть теоретическими и профессиональными.

Исследования концептуальной модели показали, что одно частное подзаключение может быть получено несколькими способами в зависимости от ситуации: 1) множество экспертов включает подмножество экспертов, специализирующихся в одной области знаний, но различных школ, — тогда требуется предварительное согласование частных промежуточных заключений; 2) для формирования частного заключения необходимы знания нескольких экспертов; 3) для формирования частного заключения актуальны знания одного эксперта.

Предлагаемая концептуальная модель отображает несколько вариантов постановки диагноза объекту по его характеристикам: 1) альтернативная дифференциальная диагностика, когда объект относят к одному из взаимоисключающих классов; 2) дифференциальная диагностика выделения одной проблемы и исключения всех остальных; 3) диагностика, дифференцирующая один подтип (несколько поддиагнозов) проблемы от другого/других.

ЛПР формирует заключительный диагноз, используя частные диагностические заключения и/или значения показателей состояния объекта, поступающие от аппаратуры и экспертов.

На этом этапе возникают: 1) ситуации нехватки опыта лица, принимающего решения; 2) халатности и инертности; 3) принятие решения в условиях недостатка времени.

Для оперативного распознавания состояния объекта диагностики необходим новый подход как к процессу диагностики, так и к объекту. Виртуальные гетерогенные коллективы — это новый механизм искусственного коллективного интеллекта с сотрудничающими и дополняющими друг друга логико-математическими и визуально-пространственными методами и моделями мышления экспертов и ЛПР.

2. Концептуальная модель виртуальных гетерогенных коллективов

Концептуальная модель нового класса интеллектуальных информационных систем в информатике — виртуальных гетерогенных коллективов представлена на рисунке 2.

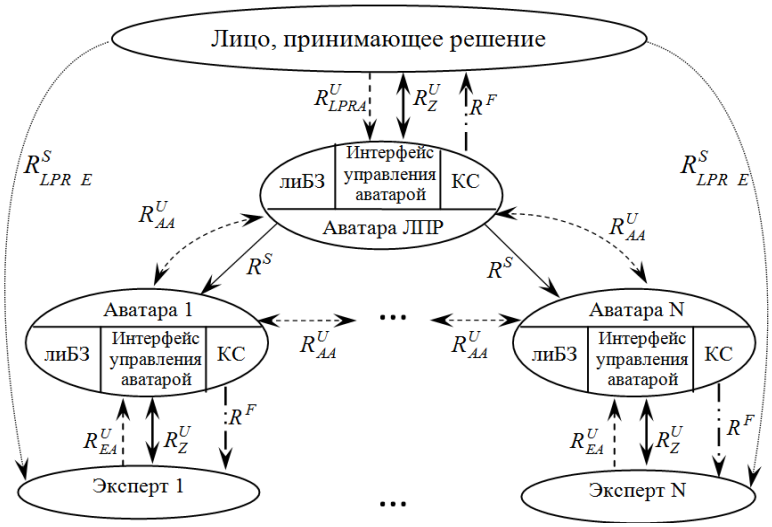


Рис. 2. Концептуальная модель коллектива виртуальных экспертов

Существенный элемент ВГК — аватара (англ. *avatar*, санскр. *avatāra*, нисхождение, в рус. «воплощение, явление, проявление») — интеллектуальный объект, не имеющий аналога в реальной жизни коллектива, включающий: 1) собственную базу знаний (БЗ) для обработки информации, поступающей от когнитивного образа объекта, — условий решаемой задачи, источника информации и для реальных, и для виртуальных участников коллектива; 2) когнитивный образ субъекта — процесса принятия решения аватарой; 3) интерфейс управления аватарой реальным экспертом (наблюдателем, контролером и аналитиком работы виртуального коллектива в процессе решения сложной задачи), посредством которого эксперт может либо включить «режим замещения аватары» —

взять на себя все ее функции по принятию решения как анонимно, так и открыто (на рис. 2 — отношения R_Z^U), либо включить «режим коррекции БЗ», пополнения БЗ аватары непосредственно в процессе работы виртуального коллектива (R_{EA}^U). Переход в «режим замещения аватары» или «режим коррекции БЗ» из «режима наблюдателя» (по умолчанию) определяется отношениями R^F обратной связи аватары и эксперта.

Отношения взаимозамены и отношения коррекции наследуют коммуникационные функции СППГР. «Режим наблюдателя» может использоваться для тренировки навыков в выработке решений, а когнитивные образы объекта и субъектов ВГК будут способствовать повышению скорости передачи информации и уровня ее понимания, а также развитию интуиции, профессионального «чутья» и образного мышления.

ВГК комбинирует при решении гетерогенное модельное поле (ГМП — модели с базами знаний, включающими опыт, профессиональные, теоретические знания экспертов) и визуальное гетерогенное поле, и когда область явлений хорошо изучена, формализована (частично формализована), подключает для поиска решений ГМП, а когда есть существенная неопределенность, не снимаемая точным анализом и логико-математическим рассуждениями, приводит в действие механизмы визуально-пространственного, образного мышления ВГК.

По умолчанию коллектив аватар формируется аватарой ЛПР. При этом реальный ЛПР может скорректировать процесс создания коллектива для решения конкретной поставленной задачи. Коллектив реальных экспертов набирается реальным ЛПР-пользователем ВГК ($R_{LPR\,E}^S$) и может быть собранным со всего мира либо в одной целевой организации.

Информационно-управляющие отношения R_{AA}^U отображают взаимодействие участников коллектива.

Принципиальное отличие виртуального гетерогенного от традиционного коллектива заключается в том, что полноценными участниками первого могут быть как люди, так и виртуальные эксперты (аватары). В таких коллективах средства вы-

числительной техники не просто формируют среду для общения, а виртуальные эксперты принимают непосредственное участие в решении возникающих перед коллективом задач. Вторая особенность — это применение средств когнитивной компьютерной графики [6] и визуального управления [7].

Заключение

Диагностические задачи сейчас характеризуются сложностью, неопределенностью, нечеткостью, недостатком времени и требуют для своего решения: 1) применение средств и систем телекоммуникации для организации и работы коллективов территориально распределенных специалистов — виртуальных коллективов; 2) применение методов математики и технологий искусственного интеллекта, виртуальной реальности для моделирования процессов выработки и принятия коллективных решений — ВГК; 3) разработка агентов-аватар, когда эксперты ВГК могут проявить свои профессиональные знания, опыт и рассуждения, интеллект над аспектом сложной ситуации, заняв место виртуальной сущности; это путь встраивания, интеграции модельной составляющей в горизонтальные управленческие коллективы.

Специалисты из разных предметных областей убеждены, что именно сочетание естественного и визуального языков в логико-математических и визуально-пространственных рассуждениях при работе над диагностическими проблемами релевантно феномену человеческого мышления, что подчеркивает актуальность создания нового класса интеллектуальных информационных систем — виртуальных гетерогенных коллективов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-07-00272 А.

Список литературы

1. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления. 2003. Вып. 1. С. 13—28.

2. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.

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

4. *Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. и др.* Основы технической диагностики : в 2 кн. М. : Энергия, 1976. Кн. 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза.

5. *Ливенцев Н.М.* Курс физики (Атомная и ядерная физика, основы медицинской электроники и основы медицинской кибернетики) : учеб. для вузов. 6-е изд. М. : Высш. школа, 1978.

6. Искусственный интеллект : в 3 кн. : справочник / под ред. Д.А. Поспелова. М. : Радио и связь, 1990. Кн. 2 : Модели и методы.

7. *Ortiz C.A., Park M.R.* Visual Controls: Applying Visual Management to the Factory. N. Y. : CRC press, 2011.

А.В. Колесников[1], С.В. Листопад[2], А.В. Бабич[3], А.В. Барзенков[4], А.С. Денисова[5]

[1,2,3,4,5] 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]dr_stalker93@mail. ru, [4]cbv-k@mail. ru, [5]annadenisova312@mail. ru

ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПО УСТРАНЕНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Введение

Современными энергосистемами управляют высококвалифицированные диспетчеры, пользующиеся оперативными информационными комплексами (ОИК), цель которых — обеспечивать надежную и экономичную эксплуатацию энергосистемы, облегчать выполнение рутинных задач, решаемых диспетчерами [1]. В таких комплексах используются методы ви-

© Колесников А.В., Листопад С.В., Бабич А.В., Барзенков А.В., Денисова А.С., 2016

зуального управления и контроля, такие как видеостены, виртуальное окружение и другие. Это позволяет свести воедино макроскопические и микроскопические данные о состоянии энергосистемы, облегчая процессы принятия решений по поддержанию энергосистемы в штатном состоянии.

Однако ОИК проектируется в основном в расчете на «нормальные» условия эксплуатации, но при непредвиденных обстоятельствах или авариях важных компонентов энергосистемы сложное прикладное программное обеспечение может оказаться бесполезным.

Сложность задачи аварийного управления связана с необходимостью анализа больших объемов, как правило, неполной и частично недостоверной информации для построения адекватного представления об аварийном состоянии энергосистемы, принятия решений по управлению в условиях дефицита времени. При этом следует иметь в виду, что при ликвидации аварийной ситуации основная задача диспетчера состоит в создании в минимально возможное время таких режимов работы оборудования, которые обеспечивают устойчивость параллельной работы субъектов энергосистемы, требуемый уровень надежности, требуемое качество электрической энергии, минимизацию отключения потребителей во время ликвидации аварии. И все это при выполнении большого количества правил, директивных документов и регламентов [1].

Для решения таких задач актуально применение систем синергетического и гибридного искусственного интеллекта, в частности гибридных интеллектуальных систем (ГиИС), позволяющих решать задачи с высокой сложностью моделирования не хуже реальных экспертов [2]. Знания в области синергетического и гибридного искусственного интеллекта 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 (S. Goonatilake), С. Кхеббала (S. Khebbal), Л. Медскера (L. Medsker). Существенный

недостаток ГиИС на текущем этапе их развития — моделирование в основном логического мышления и слабая проработка вопросов взаимодействия с операторами.

Интеграция технологии синергетического интеллекта и визуального управления, с одной стороны, даст возможность снять с оператора часть нагрузки по обработке информации за счет автоматизированного решения отдельных задач, а с другой — обеспечит эффективное взаимодействие оператора и ГиИС за счет использования проверенных временем методов человеко-машинного взаимодействия и визуализации информации.

1. Постановка задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики

В то время как большинство крупных энергообъектов по возможности защищены от чрезвычайных ситуаций, региональные электрические подстанции и электрические сети часто страдают от внезапных снегопадов, низких или, напротив, слишком высоких температур, штормовых ветров и, как следствие, аварийных ситуаций на энергообъектах, что приводит к отключению деревень, поселков и даже городов [3]. Для быстрой ликвидации аварийной ситуации необходимо ее локализовать, а затем как можно скорее ее устранить, для чего подобрать и задействовать возможные резервные схемы подключения и произвести восстановление объекта.

Задача устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики (ЗУАСОЭ) в чем-то похожа на задачу коммивояжера, но, как и любая другая практическая задача, значительно сложнее в моделировании [4]. Суть задачи в следующем: у энергоснабжающей организации есть множество объектов энергообеспечения потребителей разной мощности и некоторое количество ремонтных бригад, распределенных между несколькими ремонтными станциями. В случае выхода из строя нескольких объектов энергообеспечения требуется определить порядок их ремонта и распределения ограниченных ресурсов между аварийными объектами для минимизации суммарных финансовых потерь организации. При этом нужно

учитывать следующие ограничения: категорию вышедшего из строя объекта, которая определяется мощностью, категорией обслуживаемых потребителей и их количеством, число доступных ремонтных бригад (в том числе бригад «в запасе»), режим работы, расстояния от ремонтных станций до аварийных объектов, а также между аварийными объектами, ситуацию на дорогах, сложность ремонтных работ, возможность распределения мощностей по резервным объектам, возможность подключения дополнительных объектов генерации, принадлежность объекта к ремонтным станциям. Концептуальная модель ЗУАСОЭ показана на рисунке 1.

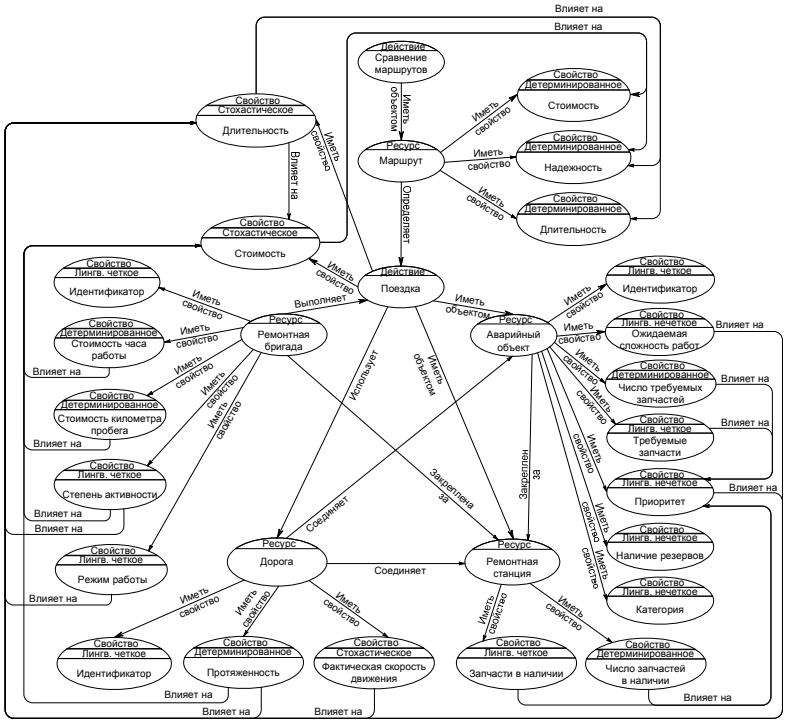


Рис. 1. Концептуальная модель задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики

Следует учитывать, что эти данные не статичны: во время ликвидации одних аварий могут поступать сведения о новых авариях, а также что отремонтированные объекты могут выходить из строя повторно. При оценке ситуации необходимо вероятную недостоверность информации, например возможны ложные отключения неповрежденного оборудования. В этой связи диспетчер должен обладать всей полнотой информации в доступной и простой для восприятия форме о подконтрольных ему объектах энергоснабжения, чтобы иметь возможность вручную корректировать план устранения аварийных ситуаций. Это обусловливает необходимость применения в составе ГиИС для решения ЗУАСОЭ методов визуального управления и контроля.

2. Архитектура гибридной интеллектуальной системы с визуальным компонентом для решения задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики

Анализ концептуальной модели ЗУАСОЭ, представленной в предыдущем разделе, показал, что в целом эта задача схожа со сложной транспортно-логистической задачей (СТЛЗ), метод решения которой был предложен в [4]. Таким образом, с учетом некоторых изменений модели предметной и состава агентов архитектура гибридной интеллектуальной системы для решения сложной транспортно-логистической задачи может быть использована при решении ЗУАСОЭ (рис. 2).

Рассмотрим назначение ее элементов:

1) элемент, принимающий решения, рассылает элементам поиска решения условия задачи. Когда последние решили задачу, он выбирает альтернативу и передает интерфейсному элементу или запускает новую итерацию решения задачи, рассылая решение остальным элементам поиска;

2) элементы поиска решения имеют знания о предметной области и используют один или несколько методов условной оптимизации;

3) решатели в верхней части рисунка 2 вместе с элементом-преобразователем комбинируют разнородные знания, вы-

полняя вычисления с применением следующих моделей и алгоритмов: алгебраических уравнений для описания причинно-следственных связей концептов предметной области; метода Монте-Карло; продукционной экспертной системы с рассуждениями в прямом направлении; алгоритма нечеткого вывода Мамдани;

4) модель предметной области — семантическая сеть, основа взаимодействия элемент, построена по концептуальной модели решаемой задачи;

5) интерфейсный элемент отвечает за взаимодействие ГиИС с пользователем. Ключевое отличие ГиИС для решения ЗУАСОЭ от метода решения СТЛЗ — функционал интерфейсного агента. Ввиду того что время на принятие решений по определению и переопределению порядка устранения аварийных ситуаций крайне ограничено, важно предоставить диспетчеру удобный интерфейс по визуальному контролю и управлению ходом ремонтных работ.

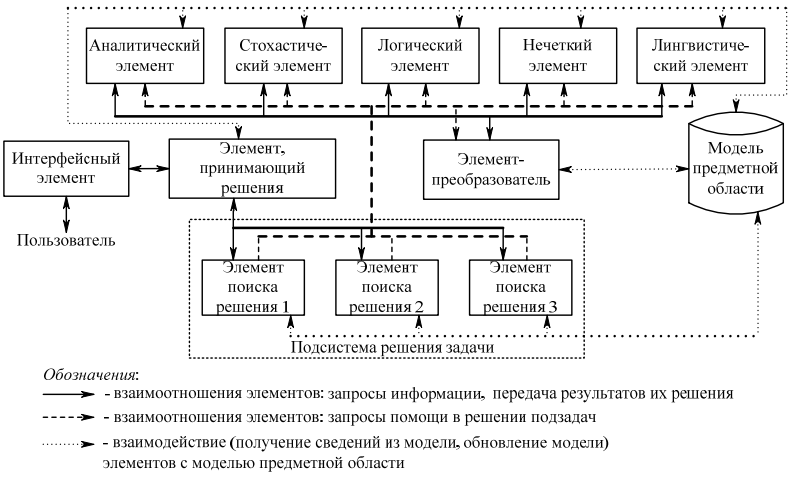


Рис. 2. Архитектура гибридной интеллектуальной системы для решения задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики

Проведенный анализ литературы в области когнитивной графики, визуального управления и контроля, в том числе в области электроэнергетики [5—14], показал, что применение какого-либо одного метода визуализации информации получаемые диаграммы могут быть достаточно громоздкими и нечитаемыми, что серьезно затрудняет восприятие информации и принятие диспетчером окончательного решения. В результате даже при использовании громоздких систем отображения информации, таких как видеостены, бывает сложно свести воедино все сведения, необходимые для принятия решений.

В связи с этим перспективными оказываются интерактивные системы визуализации на основе виртуальной реальности и/или многоуровневого представления информации. В данном случае, переходя между уровнями, например уровнем сети в целом и уровнем отдельной подстанцией, диспетчер получает доступ ко всей требуемой ему информации. Основная ее часть представляется в виде схем, графиков, диаграмм, карт и других методов визуализации информации, располагающихся на разных слоях одного уровня.

Заключение

В работе была рассмотрена постановка задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики и построена ее концептуальная модель. Эта задача аналогична сложной транспортно-логистической задаче, и к ней применимы, с учетом некоторых доработок, методы решения последней.

Представлена гибридная интеллектуальная система для решения задачи устранения аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики на основе гибридной интеллектуальной многоагентной системы решения сложной транспортно-логистической задачи. Применение средств визуального управления и контроля позволит диспетчеру анализировать разнообразную информацию на различных уровнях представления, что повысит релевантность принимаемых им решений сложности поставленной задачи в условиях дефицита времени на принятие решений.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-07-00271а.

Список литературы

1. *Будовский В.П.* Обеспечение надежной работы операторов субъектов оперативно-диспетчерского управления при аварийный ситуациях в энергосистеме // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2006. №4. С. 11—26.

2. *Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В. и др.* Гетерогенные интеллектуальные компьютерные системы поддержки принятия решений: модели координации и согласованности // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, вып. 2. С. 96—110.

3. *Кучерявинков А.А., Карташева Е.А.* Способы быстрой локализации и устранения аварийных ситуаций на электрических подстанциях и в распределительных сетях напряжением 0,4-6-10. URL: http:// market.elec.ru/nomer/15/fast-localization/.

4. *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.

5. *Larkin J.H., Simon H.A.* Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. // Diagrammatic Reasoning-Cognitive and Computational Perspectives. Cambridge, CA : AAAI Press, MIT Press, 1995. P. 69—109.

6. *Overbye T.J., Weber J.D.* Visualization of Power System Data // 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. 2000. P. 31—38.

7. *Lengler R., Eppler M.* A Periodic Table of Visualization Methods. URL: http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html.

8. *Брагута М.В., Клименко С.В.* Использование систем виртуального окружения для визуализации информации в сфере управления электроэнергетическими системами // Вестник ИГЭУ. 2008. №4. С. 52—67.

9. *Клименко С.В., Брагута М.В.* Применение систем виртуального окружения. URL: http://prominf.ru/article/primenenie-sistem-virtualnogo-okruzheniya.

10. *Mazza R.* Introduction to Information Visualization. London : Springer-Verlag London Limited, 2009.

11. *Роэм Д.* Практика визуального мышления. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014.

12. *Данишевский В.И., Колесников А.В.* Гибридная интеллектуальная система с когнитивной компонентой для диспетчерского управления региональной энергосистемой // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. М. : Физматлит, 2015. Т. 1. С. 391—399.

13. *Li K., Tiwari A., Alcock J., Bermell-Garcia P.* Categorisation of visualisation methods to support the design of Human-Computer Interaction Systems // Applied Ergonomics. 2016. Vol. 55. P. 85—107.

14. *Pelliccia L., Klimant P., Schumann M. et al.* Energy visualization techniques for machine tools in virtual reality // Procedia CIRP. 2016. Vol. 41. P. 329—333.

А.Е. Колодин[1], А.В. Колесников[2], А.А. Меркулов[3]

[1,2] БФУ им. И. Канта, [2] КФ ФИЦ ИУ РАН,
[3]Ассоциация инновационных предприятий NBICS, Калининград, Россия
e-mail: [1]alex_kolodin@mail. ru, [2]avkolesnikov@yandex. ru, [3]alex. merkulov@mail. ru

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ SMART GRID СЕТИ

Введение

Повышение энергетической эффективности и необходимость ресурсосбережения — актуальные проблемы во всех странах мира. Для их решения в последние годы разрабатывается новая энергетическая политика, основанная на использовании гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии (HRES — Hybrid Renewable Energy System), в которых традиционные источники электроэнергии объединены с возобновляемыми (такими, как солнечные панели, ветровые генераторы и др.).

Управление возобновляемыми источниками энергии — сложная задача, так как на функционирование системы влияют внешние воздействия (погодные условия) и внутренние факторы (тарифные планы, мощности нагрузки, состояния

© Колодин А.Е., Колесников А.В., Меркулов А.А., 2016

помещения). Качество решения проблемы зависит от имеющихся данных об энергетической системе: о потреблении и производстве электроэнергии и от применяемых методов обработки информации и управления. В работах Ванга (Wang), Вичерта (Wichert), Родольфо (Rodolfo), Джереми (Jérémy) и других предлагаются отдельные решения по проектированию и управлению гибридными энергосистемами, однако в них не учитываются прогнозные значения факторов, что снижает эффективность применения подобных подходов. Перспективна для повышения эффективности управления энергетическими системами с возобновляемыми источниками энергии — разработка и внедрение систем автоматического управления энергопотоками на основе алгоритмов с прогнозирующими моделями потребления и производства электроэнергии.

Прогнозируя потребление и производство энергии, можно сформировать оптимальную стратегию переключения в системе между источниками электроэнергии, что приводит к минимизации затрат на нее. Поэтому актуальной является задача управления энергопотоками с помощью гибридной интеллектуальной системы.

1. Архитектура гибридной интеллектуальной системы оценки текущей ситуации

Гибридная интеллектуальная система (ГиИС) — это система, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [1]. Это совокупность: аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов, имитационных статистических моделей.

Что же нужно, чтобы создать гибридную интеллектуальную систему? Первый шаг — построение формального языка, позволяющего описывать различные типы непрерывных и дискретных процессов [2].

В настоящее время процесс «гибридизации» прикладных систем искусственного интеллекта (ИИ) — одна из основных

тенденцией в развитии ИИ. Она входит в обычную повседневную жизнь, в частности в «умном доме» с его устройствами. Из них в рамках рассматриваемого примера можно выделить робот-пылесос, позволяющий строить карту помещения с использованием светочувствительных датчиков и осуществлять уборку с учетом этой карты (например, Yujin Robot iClebo Arte YCRM05), и систему управления освещением — «умный свет», дающую возможность изменять интенсивность освещения в помещении в зависимости от текущей ситуации. В скором времени ИИ войдет в медицинские, пожарные и другие службы.

2. Системный анализ сложной задачи оценки текущей ситуации и прогнозирования

Важное направление модернизации современной теории управления — системный анализ, своей целью ставящий улучшение механизмов принятия решений в системах управления: городом, регионом, заводом и др. Цель управления на всех ступенях социально-экономических систем (от опасного объекта до уровня муниципального образования и субъекта Федерации) — улучшение качества жизни людей и качества окружающей среды, а уровень безопасности рассматривается как один из главных показателей. Решение таких проблем невозможно без математических моделей механизмов функционирования объекта управления, являющегося, по сути, большой слабоструктурированной и слабоформализованной системой различных технических и природных объектов, подверженных влиянию: природных, биолого-социальных, антропогенных, в том числе обусловленных поведенческим «человеческим фактором», и т. д. и временных (старение систем жизнеобеспечения, критически важных инфраструктур) воздействий [3].

Рассмотрим концептуальную модель механизмов принятия решений в системах поддержки принятия решений с использованием модели устойчивого гомеостата Ю. М. Горского [4], основанную на включении в систему объектов — антагонистов (рис. 1).

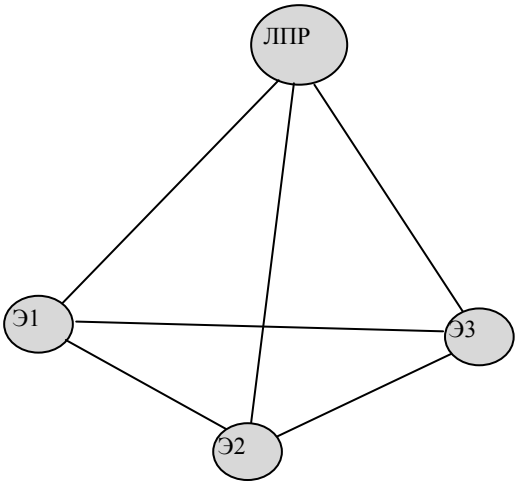


Рис. 1. Концептуальная модель механизмов
принятия коллективных решений:
ЛПР — лицо, принимающее решения (управляющий орган
по Ю. М. Горскому); *Э1—Э3* — эксперты (антагонисты по Ю. М. Горскому)

Модель, имеющая визуальный образ пирамиды, на рисунке 1 получена по правилу склеивания (комбинированием) трех треугольных фигур (треугольников с вершинами ЛПР-Э1-Э2, ЛПР-Э1-Э3, ЛПР-Э2-Э3). Каждый из треугольников образован из двух полюсов экспертов-антагонистов — противоречия в системе (например, повышение энергоэффективности сети) как борьбы противоположностей и полюса-ЛПР, символизирующего управление, единство, целостность. Метафора треугольника символизирует закон единств и борьбы противоположностей применительно к коллективному интеллекту. Эксперты решают противоречие, ЛПР управляет экспертами.

В общем случае задача управления состоянием системы заключается в оценке текущего состояния безопасности большого объекта на основе всей доступной информации, по-

строении прогнозов ее развития и выработке рекомендаций по управлению развитием проблемы, исходя из целей управления, т. е. задач, стоящих перед экспертом и ЛПР.

«Входящая информация», в этом случае — не показания, что характерно для технической диагностики, а совокупность информации, в частности данные ежедневной отчетности об оперативной ситуации, статистические данные, данные различных министерств и ведомств и т. д.

Благодаря гибридным интеллектуальным системам возможно: 1) проектирование системы оценки текущей ситуации; 2) моделирование ситуации для прогнозирования (где, когда, в какой промежуток времени и что может произойти).

Понятие гибридного интеллекта возникает в этом случае тогда, когда ЛПР редуцирует единое целое, т. е. исходную задачу, на составные части и поручает решение отдельных частей целого, т. е. подзадач, экспертам (агентам). Таким образом, в системе появляется диалектическое противоречие «целое-часть», когда две сущности — общая задача-система и ее декомпозиция (результат редукции) — начинают сосуществовать вместе [5].

3. Реализация

Платформой для разработки интеллектуальной системы служит набор инструментов Aforge. Net [6] — открытой платформы на языке C#,. фреймворк — набор библиотек разработчика искусственных нейронных сетей.

В качестве инструмента создания экспертных систем применяется CLIPS [7]. Программный продукт FuzzyClips будет задействован как компонент для проектирования алгоритмов нечеткой логики. Используется и программный продукт AnyLogic с функцией создания процессов с системной динамикой, с агентным и дискретно-событийным моделированием.

Структурная модель ГиИС приведена на рисунке 2.

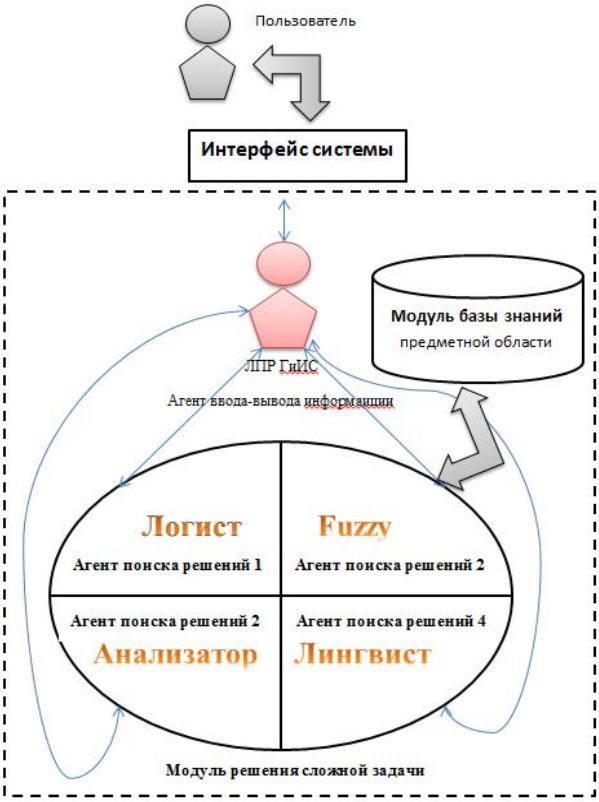


Рис.2. Гибридная интеллектуальная система

Заключение

На основе анализа собранных материалов были выделены преимущества применения гибридных интеллектуальных систем в энергетике.

Технология Smart Grid трактуется сегодня как концепция инновационного энергосберегающего преобразования электроэнергетики, поскольку именно пересмотр ряда существующих базовых принципов модернизации всех составляющих

энергосистемы (в том числе потребителей электроэнергии) и вытекающие отсюда масштабы и характер задач обусловливают такое внимание к этому направлению.

Была выдвинута идея создания гибридной интеллектуальной системы оценки текущей ситуации региональной энергетики. Также предложены программные инструменты для реализации системы: платформа Aforge. Net., FuzzyClips, AnyLogic.

Так как работа направлена на улучшение состояния региональной энергетики, результатом станет многофункциональная платформа для оценки текущей ситуации, лабораторные эксперименты с которой планируется проводить на материалах предприятия «Янтарьэнерго».

Работа поддержана грантом РФФИ 16-07-00271а.

Список литературы

1. *Колесников А.В.* Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001.

2. *Тарасов В.Б.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта. 1998. №2. С.5—63.

3. *Катуева Я.В*. Характеристики информационного пространства в задаче управлениябезопасностью субъекта федерации. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/harakteristiki-informatsionnogo-prostranstva-v-zadache-upravleniya-bezopasnostyu-subekta-federatsii.

4. *Горский Ю.М., Степанов А.М., Теслинов А.Г.* Гомеостатика: гармония в игре противоречий. Иркутск : Репроцентр А1, 2008.

5. *Колесников А.В., Кириков И.А.*, Концептуальная модель двунаправленной гибридизации при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений // Системы и средства информатики. 2008. Дополнительный выпуск. С. 21—53.

6. Описание платформы AForge. Net. URL: http://www.aforgenet.com/framework/.

7. *Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л.* Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб. : БХВ-Петербург, 2003.

А.Г. Коробейников[1], М.Е. Федосовский[2], С.А. Алексанин[3], В.В. Сухостат[4]
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Россия
e-mail: [1]Korobeynikov_A_G@mail. ru, [2]diakont@diakont. com, [3]Aleksanin@diakont. com, [4]sukhostat@mail. ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Введение

В настоящее время достаточно широко при решении практических задач дефектоскопии используют методы цифровой обработки изображений (ЦОИ), например в задаче обнаружения на изображении дефектов с вычислением их геометрических характеристик. Данные задачи крайне актуальны, так как постоянно ужесточаются требования к качеству, надежности и долговечности изделий.

Совершенно ясно, что из факта большого многообразия типов дефектов и причин их появления следует факт существенного различия их формы и геометрических размеров. Кроме того, необходимо учитывать и количество дефектов. Естественно, что эти причины существенно снижают эффективность обнаружения дефектов и требуют разработки и применения специальных алгоритмов и методов, которые учитывают конкретные проблемы выявления дефектов.

В настоящее время для эффективного использования существующих методов дефектоскопии часто необходимы большие затраты человеческого труда, направленные на обработку результатов обследования изделий. Это связано, например, с недостаточно хорошим качеством полученных дефектоскопических изображений. Естественно, это приводит к снижению скорости и качеству контроля.

© Коробейников А.Г., Федосовский М.Е., Алексанин С.А., Сухостат В.В., 2016

Но тем не менее уже существуют средства на базе современной вычислительной техники (ВТ), математического и программного обеспечения (ПО), позволяющие автоматизировать многие рутинные операции по анализу и расшифровке дефектоскопических снимков [1—4].

При автоматизированной ЦОИ общую задачу дефектоскопии целесообразно разделить на ряд целевых задач, например: реконструкция изображений, обнаружение объектов и изменений в сцене наблюдения, высокоточные измерения элементов сцены, самоориентация и самопозиционирование [4]. Понятно, что для решения конкретной целевой задачи необходимо использовать подходящие методы. А отсюда вытекает актуальность задачи по разработке процедур автоматизированного выбора методов ЦОИ, входящих в состав диагностических комплексов.

Автоматизированное определение длины рельсовых стыков

Рассмотрим задачу автоматизированного определения длины рельсовых стыков. В реальных условиях при решении этой задачи из-за достаточно большой скорости движения платформы с установленной на ней съемочной аппаратурой часто возникает искажение цифрового изображения (смаз). При проведении вычислительных экспериментов по решению задачи устранения смаза была использована разработанная соответствующая проектная процедура.

Для эксперимента было взято изображение, представленное на рисунке 1. Оно было обработано процедурой смаза величиной в 10 пикселов. К результату добавили однопроцентный гауссовский шум (рис. 2).

Восстанавливалось изображение при помощи метода квадратур с регуляризацией Тихонова: 1 — с размытыми краями и переопределенной системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), 2 — с усеченными краями и СЛАУ. В ходе

эксперимента для количественной оценки погрешности рассчитывалось относительное среднеквадратическое отклонение (СКО) $\sigma_{rel}(\alpha)$ восстановленного изображения от исходного:

$$\sigma_{rel}(\alpha) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left[f_\alpha(i,j) - f(i,j)\right]^2}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} f(i,j)^2},$$

где α — параметр регуляризации; $f(i,j)$ — исходное изображение; $f_\alpha(i,j)$ — восстановленное изображение при заданном α.

Рис. 1. Исходная фотография

Рис. 2. Зашумленная фотография

На рисунке 3 приведена в логарифмическом масштабе (более понятная в данном случае для зрительного восприятия) зависимость σ от α. Метод 1 представлен кривой 1, и соответственно метод 2 — кривой 2. Как видно из графика, оптимальное значение α для метода 1 равно $\alpha_{1opt} = 0{,}1$ и $\sigma_{rel}(\alpha_1) = 0{,}26$. Оптимальное значение α для метода 2 равно $\alpha_{2opt} = 0{,}02$ и $\sigma_{rel}(\alpha_2) = 0{,}11$. Согласно полученным результатам для удаления смаза рекомендуется применять метод 2 с параметром регуляризации $\alpha = 0{,}02$.

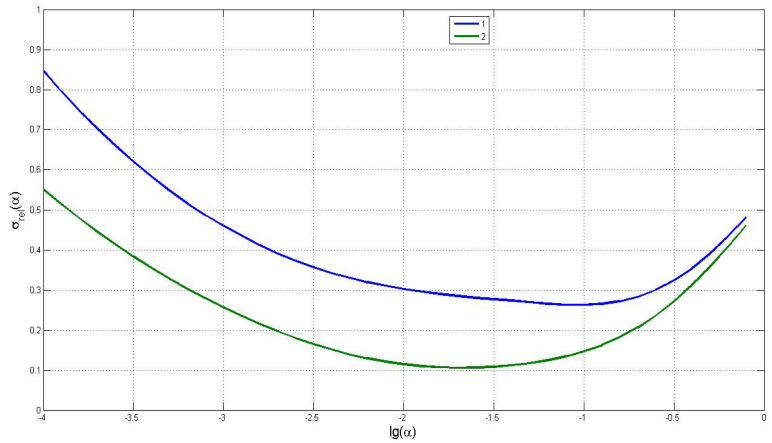


Рис. 3. Расчет параметра регуляризации

Рассмотрим разработанную методику цифровой обработки изображений, позволяющую в автоматизированном режиме оператору, обслуживающему контрольно-измерительную аппаратуру, оценивать длины рельсовых стыков. Эта методика базируется на методах морфологической обработки изображений, а именно на операции эрозии и дилатации, а также их различной совокупной последовательностью воздействий, называемых морфологическим замыканием и морфологическим размыканием.

Необходимо отметить, что измерение длины на изображение происходит в пикселах. Поэтому для перевода в метры, или его производные, необходима привязка. В представленном эксперименте это будет ширина головки рельса, равная 75 мм.

На *первом этапе* «обрезаем» исходное изображение (рис. 1) для выделения области, где имеется рельсовый стык (рис. 4). Далее, для более четкого выделения области рельсового стыка производим «температурную обработку» до – 950 С° (рис. 5).

Рис. 4. Обрезанное изображение

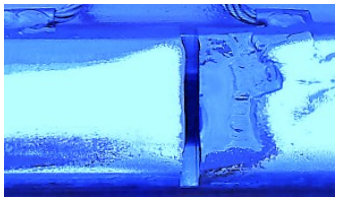


Рис. 5. «Холодное» изображение

Заканчиваем первый этап бинаризацией, т. е. переводим рисунок 5 в черно-белое (бинарное) изображение с порогом 0,09 (рис. 6).

На *этапе морфологической обработки* последовательно применяются операции морфологического замыкания и размыкания с целью удаления темных пятен в светлой области и светлых пятен в темной области. Для этого берется образующий элемент «Line». Этот выбор продиктован предположением, что область рельсового стыка можно практически считать прямоугольной.

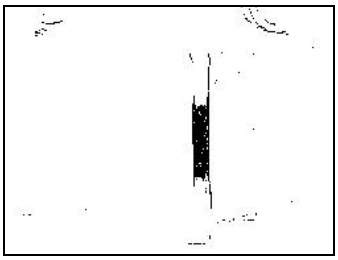


Рис. 6. Бинарный образ изображения

Рис. 7. Результат этапа морфологической обработки

Далее рассчитываем компоненты связности. В данном примере их число составило 21. Другими словами, на бинарном изображении обнаружена 21 область.

После этого вычисляются площади этих областей, исключая область, помеченную как 0 (zero). Она считается фоном. Берем область с максимальной площадью. Интенсивность остальных переводим в фон. Результат данного этапа представлен на рисунке 7.

Оценка длины рельсового стыка. Базируясь на предположении прямоугольной области рельсового стыка, рассчитывается максимальное евклидово расстояние в пикселах по оси X в области, представленной на рисунке 7. Результат — 12,5 пикселов.

Для перехода к абсолютным значениям длины воспользуемся предположением об одинаковом формате всех изображений. В этом случае ширина головки рельса, равная 75 мм, соответствует 155 пикселам. То есть длина в 1 пиксел на изображении всегда соответствует 0,48 мм. Эти данные всегда можно получить до начала измерений.

Таким образом, на изображении, приведенном на рисунке 1, оценка длины рельсового стыка составляет 6 мм.

Заключение

В работе рассмотрено применение методов цифровой обработки изображений для автоматизированной оценки длины рельсового стыка. Кратко рассмотрена постановка задачи устранения смаза на изображении. Данная задача возникает из-за динамики фотокамеры. Решение этой задачи предлагается проводить на базе методов регуляризации Тихонова. Представлен численный пример расчета параметра регуляризации.

Далее рассмотрены этапы автоматизированной оценки длины рельсового стыка. Приведен конкретный пример обработки изображения.

На базе рассмотренных методов можно создать автоматизированную процедуру для решения задачи оценки длины рельсового стыка, которая повысит эффективность работы оператора контрольно-измерительной аппаратуры, а это в конечном итоге обязательно приведет к повышению безопасности работы подвижного состава.

Отметим, что все вычислительные эксперименты проводились с использованием системы MATLAB [5].

Список литературы

1. *Гонсалес Г., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2006.

2. *Сидоркина И.Г., Кудрин П.А., Коробейников А.Г.* Алгоритм распознавания трехмерных изображений с высокой детализацией // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. №2(9). С. 91—98.

3. *Коробейников А.Г., Блинов С.Ю., Лейман А.В. и др.* Мониторинг объектов на базе мультиагентных систем интеллектуальных агентов магнитных измерений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика : материалы 1-го международного симпозиума. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. Т. 2. С. 155—160.

4. *Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г.* Методы и модели цифровой обработки изображений. СПб. : Политехнический университет, 2014.

5. *Коробейников А.Г.* Проектирование и исследование математических моделей в средах MATLAB и MAPLE. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2012.

С.Н. Ларин[1], С.А. Карпаев[2]
ФНПЦ АО НПО «Марс»,
Ульяновский государственный технический университет, Россия
e-mail: [1]larinmars@rambler. ru, [2]neonix3000@mail. ru

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Базовым составляющим автоматизированных систем производства является планирование использования средств производства и трудовых ресурсов предприятия, а также расчет равномерной загрузки трудовых ресурсов и площадей, выстраивание выполнения заказов таким образом, чтобы задания

© Ларин С.Н., Карпаев С.А., 2016

между цехами, участками, рабочим центрами (РЦ) сочетались с минимальными количествами простоев во время настройки и подготовки к работе, исключив диспропорции при выполнении задач на разных стадиях изготовления.

Эта задача полностью ложится на системы ОКП. Существенную и значимую роль в производстве играет САПР ТПП, так как процесс производства руководствуется ТП, маршрут которого детально описан в сопроводительных документах [1]. При одинаковой программе выпуска может быть разработано несколько вариантов ТП обработки, имеющих различные характеристики. Из возможных вариантов технологического процесса изготовления одного и того же изделия, равноценных с позиции технического принципа проектирования, выбирают наиболее эффективный и рентабельный вариант. С точки зрения построения производственных расписаний важно учесть и выбрать тот ТП, эффективность и рентабельность от которого будет максимальна с учетом постоянно меняющегося приоритета изготовления в плане производства.

Необходимость комплексного подхода при решении задач управления производством, автоматизированных систем ТПП и ОКП привело к унификации требований к подобным системам и появлению новых концепций [1—4].

В статье авторами раскрывается подход (который уже получил частичную реализацию) к извлечению и использованию истории успешных опытов производства, а также множества вариантов ТП САПР ТПП в процессе проектирования оперативно-календарного плана, предлагаются оригинальные алгоритмические решения формирования оперативно-календарных планов.

1. Взаимосвязь систем САПР ТПП и ОКП

ОКП в единичном производстве включает в себя: расчет производственного цикла; построение календарного графика выполнения заказов; расчет времени опережения в работе цехов; расчет загрузки оборудования; регулярный учет выполнения заказов [1; 5].

Расчет длительности производственного цикла изготовления изделия начинается с разработки календарного графика общей и узловой его сборки (циклограммы). Последняя определяет продолжительность производственного цикла и устанавливает очередность комплектования узлов изделия. При составлении графика изготовления изделия учитываются технологические операции (на основе ТП), а также пролеживание деталей. Проведенный анализ показал, что в существующих системах построения планов (например, в системах «СПРУТ-ОКП», «1С: Предприятие», «SAP» и др.) отсутствует технология анализа архива ТП с точки зрения их проекции на производство, предварительная аналитика загружаемых рабочих центров. Системы ОКП взаимодействуют с системами САПР ТПП, PDM, ERP (рис. 1).

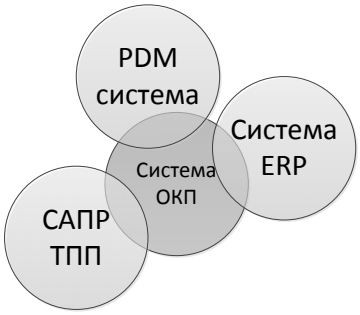


Рис. 1. Взаимодействие систем с ОКП

В процессе формирования плана производятся расчеты по минимизации временных потерь простоев оборудования, времени ожидания обслуживания (обеспечение комплектного выпуска деталей), минимизация времени выполнения всех работ по комплекту деталей с учетом подстановки наиболее эффективного технологического процесса [6]. Построение модели взаимодействия критериев ТО и критериев построения плана между САПР ТПП и системой ОКП — цель исследований настоящей статьи [7].

2. Разработка модели интеграции систем ОКП и САПР ТПП

Инженерная подготовка производства изделия начинается с анализа конструкторской документации (КД), технических требований, технических условий (ТУ) разработчика и т. д.

После получения КД инженер-технолог проводит анализ на возможность изготовления, и в случае, если оборудование и освоенная технология позволяет изготовить изделие, создает технологический процесс (ТП) в САПР ТПП. В систему ОКП загружается укрупненный план (помесячный, поквартальный и т. п.) производства, который благодаря алгоритму формирует календарный план на каждый цех. В результате работы программного обеспечения на выходе получается цеховой оперативно-календарный план.

Авторы стати предлагают при построении оперативно-календарного плана использовать исходные данные всех технологических процессов САПР ТПП (рис. 2).

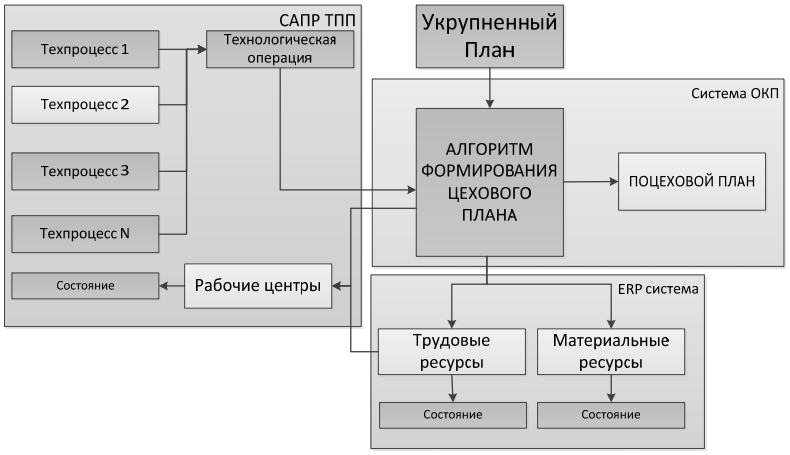


Рис. 2. Взаимодействие систем управления производством

При формировании оперативно-календарного плана система получает на планируемое изделие ТП (из САПР ТПП) и технологические операции (ТО). Каждая ТО с помощью алгоритма формирования цехового плана рассчитывается и передается на конкретный участок, где будет производиться сама

ТО. В процессе расчета каждой ТО рассчитываются интервалы времени между операциями (W_{ij}) среди множества деталей заказов (I_S) планируемого периода. В процессе построения плана также считается трудоемкость операции (q_{ik}) на конкретном станке (K_n), длительность выполнения ТО (p_{ij}), в том числе множество всех ТО (G_i) (включая время простоев). При расчете система обращается к истории успешных практик и включает в план ТО на исполнителя, чья производительность выше других. На рисунке 3 отражен процесс циклический, итерационный, где сравниваются характеристики в момент построения оперативно-календарного планирования.

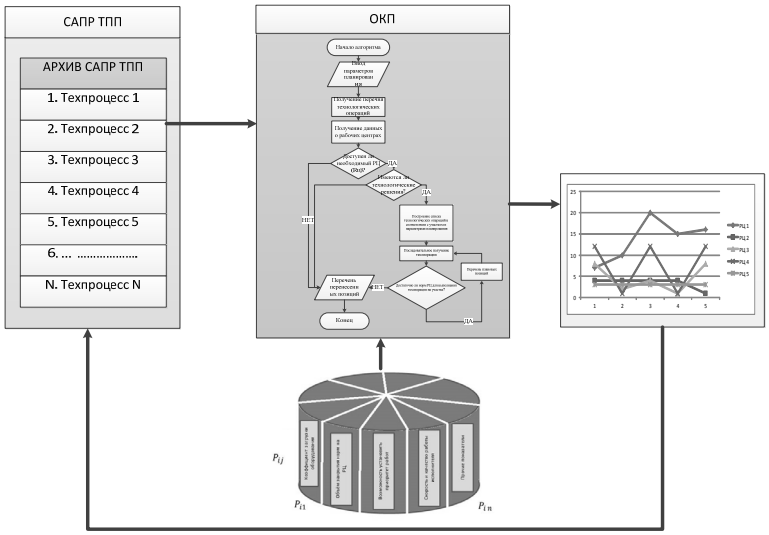


Рис. 3. Процесс итерации технологической операции в алгоритме

Решение задачи оптимизации производственного процесса нужно выполнять в соответствии со следующими критериями: минимизация времени ожидания обслуживания ($K_{1(i)}$), т. е. обеспечение комплектного выпуска деталей (суммируется од-

ноименная номенклатура), улучшение структуры штучно-калькуляционного времени, определенной по формуле

$$K_{1(i)} = \min(\sum_{I \in I_S} W_{ij}),$$

где W_{ij} — интервал времени между окончанием (j-1)-й и началом j-й операции i-й детали; I_S — множество деталей заказа S. Максимальная загрузка оборудования (K_2) — одна из основополагающих целей в производственном процессе. В расчет включено все множество операций i-й детали (G_i) и длительность выполнения операции (p_{ij}). Изначально определяется значение p_i по формуле

$$p_i = (\sum_{j \in G_i} p_{ij}),$$

где $p_{iь}$ — длительность выполнения операции; G_i — множество операций i-й детали. Исходя из известной составляющей (p_i) производится расчет длительности прохождения i-й детали в системе (F_1), включая время простоя по формуле

$$F_1 = (W_{ij} + p_i).$$

Таким образом, минимизация простоев оборудования (K_2) рассчитывается с учетом трудоемкости операции i-й детали на k-м станке (q_{ik}) по следующей формуле

$$K_2 = \min(q_{ik} - \sum_{I \in I_S} F_{iks}).$$

В итоге минимизация времени выполнения всех работ по комплекту деталей рассчитывается согласно формуле

$$K_3 = \min(\sum_{i \in I_S} R_{ik} - \sum_{i \in I_S} F_i),$$

где R_{ik} — объем работ, который необходимо выполнить по i-й детали заказа s [2; 4].

Методика интеграции САПР ТПП и ОКП представляется в виде последовательно выполняемых процедур: получение состояния всех видов ресурсов; получение итогового объема мощности РЦ в зависимости от ресурсов; получение результата о выполнении плана; невыполненные ТО с наивысшим приоритетом добавляются в план; получение мощности невыполненных ТО и формирование остаточной мощности рабочих центров; получение новой номенклатурной позиции плана; поиск ТП на выбранную номенклатурную позицию из САПР ТПП; определение количества ТП, ранее используемых на производстве; выявляются все ТО по выбранному ТП в сумме затрат на реализацию, не превышающих смену или две смены рабочего дня (зависит от установок системы); каждая ТО распределяется по РЦ каждого из участка, которому определена ТО (методом сложения); определяются критерии; каждый критерий проверяется на условие добавления в РЦ (согласно п. 10), если условие не выполняется — ТО не распределяется на РЦ, и последующие операции ТП не обрабатываются.

3. Практическая реализация

Система производит расчет текущего состояния выполнения установленного плана и выдает результат о выполненных операциях, а также о проценте его выполнения. Для построения плана на следующий период необходимо установить атрибут «учитывать все технологические операции». Таким образом, система при расчетах обращается к истории ТО САПР ТП. Каждый ТП анализируется с точки зрения его последнего исполнения. Лучший по своим параметрам ТП система в порядке соответствующем общему плану обрабатывает и распределяет по РЦ в план будущего периода. Таким образом, при формировании плана выполнения ТО производится аналитика всех ТО, ранее выполненных на производстве.

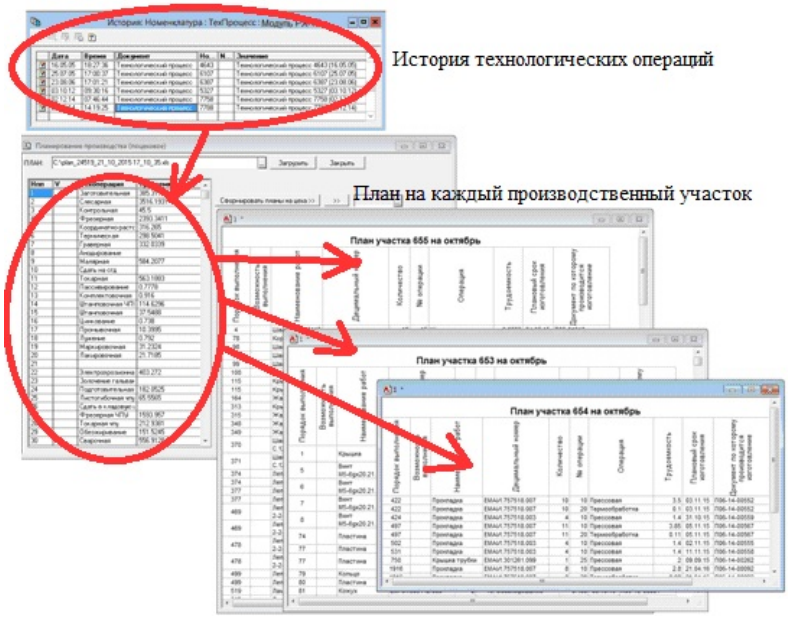


Рис. 4. Интерфейсная реализация интеграции
САПР ТПП и системы ОКП

Заключение

Предложена модель взаимодействия САПР ТПП и системы ОКП. Предлагаемая модель интеграции систем позволяет на этапе проектирования ТП спрогнозировать итоговое время изготовления изделия с учетом загрузки РЦ. Прогноз осуществляется на основе истории успешных опытов, ранее изготовленных деталей, а также текущего состояния производственных мощностей. Таким образом, на стадии проектирования технологической подготовки определяется техническая возможность реализации всех ТО с учетом возможности их выполнения в рамках постоянно формирующегося календарного плана производства.

Список литературы

1. *Чудаков А.Д., Фалевич Б.Я.* Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механообработки. М., 1986.

2. *Татевосов К.Г.* Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. Л. : Машиностроение, 1986.

3. *Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж.* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб. : Питер, 2001.

4. *Гаврилов Д.А.* Управление производством на основе стандарта MRP II. СПб. : Питер, 2003.

5. *Капустин Н.М., Кузнецов П.М., Схиртладзе А.Г. и др.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении / под ред. Н.М. Капустина. М. : Высшая школа, 2004.

6. *Михайлов А.В., Расторгуев Д.А., Схиртладзе А.Г.* Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств. Старый Оскол : ТНТ, 2010.

7. *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М. : Машиностроение, 1981.

Ю.В. Леонова[1], А.М. Федотов[2]

Институт вычислительных технологий СО РАН
Новосибирский государственный университет, Россия
e-mail: [1]juli@ict. nsc. ru, [2]fedotov@sbras. ru

О ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ТЕМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ АВТОРЕФЕРАТОВ

Введение

В работе рассматривается вопрос реализации процедуры автоматического отнесения произвольного автореферата диссертаций к одному или нескольким классам в соответствии с тематической классификаций, принятой в РФ, без помощи

© Леонова Ю.В., Федотов А.М., 2016

эксперта. Реализованный алгоритм позволяет выделять особый класс авторефератов, относящихся к исследованиям на стыке наук, когда работа не помещается в рамки паспорта одной специальности и пересекается с другой специальностью.

1. Предметная область

Научная тематика диссертаций разбивается на классы, называемые «специальностями». В классификаторе специальностей ВАК [1] применена трехуровневая классификация диссертаций, включающая следующие уровни: отрасль науки, группа специальностей, специальность. При этом вся система знаний разделена на 25 классов и отражает общепринятую дифференциацию наук по отраслям на физико-математические, биологические, химические, технические, сельскохозяйственные, медицинские, экономические и др. Каждый класс на лингвистическом уровне характеризуется документом, называемым паспортом специальности.

Паспорт специальности устанавливает формальные критерии соответствия тематики диссертации данной специальности, в том числе определение области исследования и перечень пунктов, которым должна соответствовать диссертация.

Однако формулировки одних и тех же результатов с небольшими отличиями могут соответствовать разным специальностям. Неформальные критерии соответствия темы диссертации специальности определяются диссертационными советами, которые предъявляют разные требования к диссертациям по одной и той же специальности.

Специальность можно характеризовать набором ключевых терминов со связями типа «родитель-потомок», представляемый в виде тезауруса.

Для каждой специальности встроенный в систему общетехнический тезаурус должен дополняться своим специфическим тезаурусом, соответствующим специальности.

Классификационные признаки автореферата, основанные на ключевых терминах, описаны ниже.

При классификации требуется сравнить классификационные признаки автореферата, выраженные ключевыми терминами, со множеством ключевых терминов, представляющих паспорта специальностей, чтобы решить, к какому классу относится автореферат.

2. Признаковое пространство

Для классификации фактов в авторефератах применяется фасетная, которая представляет собой совокупность ключевых слов, терминов естественного языка и набор отношений между ними. Все выделенные отношения, которым приписаны веса, изложены в систематическом словаре понятий — тезаурусе [2].

Каждый документ описывается набором своих характеристик, называемых *признаками*. Определение признаков — формирование вектора характерных признаков документа, используемого в дальнейшем для принятия решений по работе с ним. Признаковое пространство представляет собой совокупность метаданных.

Формирование признакового пространства — важный этап в задачах классификации. Необходимо отобрать наиболее значимые признаки с наибольшей информацией о классифицируемых документах. Применение слишком большого набора признаков ухудшает точность классификации, так как они содержат много избыточной информации.

Признаковое пространство формируется на основе анализа текста автореферата и метаданных, присутствующих в библиографическом описании — названии, УДК, информации об оппонентах, научных руководителях и т. д.

Пространство признаков разделяется на пять типов. Каждому типу признаков сопоставляется определенный вес, указывающий его значимость [3].

1. Код УДК и шифр специальности диссертации. Вес этих признаков невысок, поскольку проверяется правильность соответствия кода УДК и шифра специальности.

2. Субъекты, которые отражены в автореферате, — персоны: научные руководители, оппоненты; организации; специальность, диссертационный совет. Субъекты определяются наборами признаков — ключевых терминов, имеющих веса. Специальность — ключевыми терминами из паспорта специальности. Научному руководителю ставится в соответствие набор специальностей с весами, определяемыми приоритетами научного руководителя. Для оппонента список специальностей, которые он может представлять, является равнозначным. Организации и диссертационному совету аналогично соответствует список равнозначных специальностей.

3. Ссылки на близкие работы. Выделяются персоны (субъекты), на которые ссылается автор. Персонам приписан список ключевых терминов.

4. Ключевые термины, извлекаемые из текстовых структурированных разделов автореферата: научная новизна; актуальность; цели и задачи; положения, выносимые на защиту; объект и предмет исследования; теоретическая и практическая значимость работы; методология и методы исследования; степень достоверности и апробация результатов; представление работы. Ключевые термины из разных разделов автореферата имеют разный вес. Например, практическое применение имеет низкий вес, так как в этом разделе не отражена тематическая направленность, а положения, выносимые на защиту, — самый высокий.

5. Ключевые слова, приведенные автором и экспертом. Авторские ключевые слова не всегда указываются правильно, поэтому имеют низкий вес.

Таким образом, признаковое пространство представляется в виде списков ключевых терминов и значимости. Каждому ключевому термину приписывается вектор весов (значимость) разделов, в которых он встречается.

В нашем случае используется следующий порядок обработки документов. Имеется набор категорий, и поступает новый документ, для которого нужно определить список подходящих ему категорий. Если документ не попадает ни в одну категорию, то он отбрасывается.

На множестве категорий могут быть заданы теоретико-множественные отношения. Например, множества документов, составляющих категории, могут пересекаться или не пересекаться, т. е. один и тот же документ может принадлежать нескольким категориям.

Поиск авторефератов, соответствующих определенной специальности, выполняется в направлении убывания значимости классификационных признаков. Использование классификационных признаков с весами повышает точность классификации.

3. Решающее правило

Пусть имеется множество авторефератов $\mathfrak{D} = \{d_n\}_{n=1}^{N}$, где N — общее их количество, которое разбито на K непересекающихся множеств классов $\mathfrak{C} = \{c_k\}_{k=1}^{K}$, где K — количество классов. Зададим множество ключевых терминов, характеризующих тематику авторефератов $T = \{t_i\}_{i=1}^{M}$, (где M — общее число ключевых терминов).

Задача классификации — отнесение поступившего в систему автореферата a к какому-либо классу c_k.

Для учета значимости ключевого слова в автореферате ключевому слову в словаре приписывается вес w_i, соответствующий его типу.

Используя метод оценки максимального правдоподобия, рассчитываем вероятности для всех классов и выбираем класс, который обладает максимальной вероятностью. С учетом весовых коэффициентов решающее правило имеет следующий вид:

$$c_{map} = arg \max_{c_k \in C} \left[log\ P(c_k) + \sum_{t \in T(a)} x(t,a) log P(t \mid c_k) \right], \qquad (1)$$

где $P(t \mid c_k) = \dfrac{H_{tc_k} + 1}{\sum_{t' \in T} H_{t'c_k} + 1} = \dfrac{H_{tc_k} + 1}{M + \sum_{t' \in T} H_{t'c_k}}$ — вероятность вхождения произвольного термина $t \in T$ в класс c_k; H_{tc_k} —

частота встречаемости ключевого термина t в авторефератах класса c_k; $P(c_k) = \frac{|c_k|}{N}$ — априорное распределение авторефератов по классам; $|c_k|$ — количество авторефератов из $\mathfrak{D}$, которым приписан класс c_k, N — число авторефератов в $\mathfrak{D}$, $x(t_i, d_n)$ — признак:

$$x(t_i, d_n) = w_i IDF(t_i) TF(t_i, d_n), \qquad (2)$$

где $IDF(t_i) = log \frac{N - n(t_i) + 0,5}{n(t_i) + 0,5}$ — инверсия частоты, с которой слово встречается во всех авторефератах; $n(t_i)$ — число авторефератов в $\mathfrak{D}$, содержащих t_i; $TF(t_i, d_j) = q_i / Q_j$ — частота вхождения ключевого слова $t_i \in T$ в автореферат d_j; q_i — количество термов в авторефератe d_j содержащих t_i; Q_j — общее количество термов в авторефератe d_j.

4. Практические результаты

В качестве исходных данных для тестирования алгоритма классификации использовались авторефераты диссертаций по трем специальностям: 05.13.17, 05.25.03, 05.25.05. В эталонные наборы для каждой специальности вошли по 150 авторефератов.

Далее на основе эталонных наборов авторефератов составляются словари ключевых слов для каждой специальности. В работе [4] было показано, что использование 100 и более авторефератов для формирования словаря ключевых слов обеспечивает приемлемую точность классификации.

Формирование словаря ключевых слов является отдельной задачей. Например, словарь ключевых слов может составляться экспертом на основе его знаний о предметной области. Словарь формируется на основе текстов эталонных авторефератов, а также изданных словарей по различным предметным областям, его объем составил 22800 ключевых слов.

5. Результаты тестирования

На вход системе было подано по 100 ранее неизвестных текстов авторефератов для каждой из четырех специальностей. Работа алгоритма исследовалась в двух режимах.

1. Без использования весовых коэффициентов разделов автореферата с выделением ключевых слов. Для классификации использовался весь текст автореферата, из которого выделялись значимые ключевые слова. Ключевые слова и Ф. И. О. сопоставляются с терминами в словаре для каждой специальности и в соответствии с решающим правилом (1) определяется принадлежность автореферата специальности.

2. С различными значениями весовых коэффициентов разделов автореферата. Для классификации в текстах авторефератов были выделены разделы: актуальность, новизна, положения, выносимые на защиту, цель исследования, объект и предмет исследования, достоверность, методы исследования, теоретическая и практическая значимость, заключение. Каждый раздел соответствует признаку и имеет весовой коэффициент, используемый в формуле (2). Выделение значимых ключевых слов выполнялось только из текстов данных разделов авторефератов. Выделенные ключевые слова сопоставляются с терминами в словаре для каждой специальности и в соответствии с решающим правилом (1) определяется принадлежность автореферата специальности. Классификация проводилась с применением комбинации различных значений весовых коэффициентов, приписанных разделам. В таблице приведены данные для серии экспериментов с тремя значениями:

а) с равнозначными весовыми коэффициентами, равными 1;

б) с весовыми коэффициентами, равными 0,1, для разделов «Новизна» и «Положения», выносимые на защиту, и остальных, равных 1;

в) с весовыми коэффициентами, равными 1, для разделов «Новизна» и «Положения», выносимые на защиту, и остальных, равных 0,1.

Результаты экспериментов, %

Специальность	Без весовых коэффициентов — ключевые слова		С весовыми коэффициентами = 1	С весовыми коэффициентами	
				«Новизна», «Положения» = 0,1, остальные = 1	«Новизна», «Положения» = 1, остальные = 0,1
05.13.17	90	91	95	96	95
05.25.03	91	91	94	98	94
05.25.05	93	93	94	97	93

В результате тестирования выделялся особый класс авторефератов, относящихся к исследованиям на стыке наук, когда работа не помещается в рамки паспорта одной специальности и пересекается с другой специальностью. Для специальностей 05.13.17, 05.25.03 и 05.25.05 была взята выборка из 45 авторефератов. Для специальности 05.13.17 было выделено шесть авторефератов на стыке специальности 05.25.05, для специальности 05.25.03 — восемь авторефератов на стыке специальности 05.25.05, для специальности 05.25.05 — четыре на стыке специальности 05.13.17.

Результаты тестирования и влияние весовых коэффициентов приведены в таблице, содержащей пиковые значения точности классификации.

Из таблицы видно, что классификация без применения весовых коэффициентов с выделением ключевых слов из всего текста автореферата обеспечивает ее точность около 90%. Наименьшая точность классификации для авторефератов присуща для специальности 05.13.18, что обусловлено присутствием в работах результатов в нескольких областях исследований.

Режим классификации с использованием упоминаний персон совместно с ключевыми словами практически не повышает точность классификации, поскольку список упоминаемых

персон разнороден. Повышение точности классификации может достигаться за счет применения ключевых слов, связанных с персонами, а не Ф. И. О. персон.

Режимы классификации с весовыми коэффициентами показывают близкие результаты. Наибольшая точность классификации достигается с весами 0,1 для разделов «Новизна» и «Положения, выносимые на защиту» и 1 для остальных разделов.

Классификация с использованием ключевых слов из паспортов специальности дает наихудший результат.

Заключение

На основе проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Использование Ф. И. О. персон практически не влияет на точность классификации. Для повышения ее точности необходимо после извлечения из текста автореферата Ф. И. О. персоны использовать связанные с ней ключевые слова.

2. Применение разделов автореферата «Новизна» и «Положения», выносимые на защиту, в большинстве случаев оказывают большее влияние на точность классификации.

3. Использование для классификации словаря ключевых слов из паспортов специальностей отрицательно влияет на точность классификации, поскольку является наихудшей. Это объясняется недостаточностью информации в паспортах специальностей для отнесения диссертации к тому или иному классу. Паспорта специальностей содержат ассоциативную информацию, связанную с конкретной специальностью. Одним из путей повышения точности классификации на основе паспортов специальностей ВАК может быть применение содержащейся в них ассоциативной информации, например областей исследования и построения тезауруса. Другими словами, в паспортах специальностей имеются фразы, не относящиеся к ключевым терминам, однако их можно описать ключевыми терминами из тезауруса. Тезаурус должен содержать родительские и ассоциативные связи, тем самым расширяя множество ключевых слов, используемое для классификации по специальности.

Список литературы

1. ОК 017-2013 Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации от 17 декабря 2013 г. № 2255-ст.

2. *Гиляревский Р.С., Шапкин А.В., Белоозеров В.Н.* Рубрикатор как инструмент информационной навигации. СПб. : Профессия, 2008.

3. *Новиков А.М., Новиков Д.А.* Методология научного исследования. М. : Либроком, 2010.

4. *Леонова Ю.В., Федотов А.М.* Извлечение знаний и фактов из текстов диссертаций и авторефератов // V Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2013) : тр. конф. (Красноярск, Россия, 19—25 сентября 2013). Красноярск : ИВМ СО РАН. 2013. Т. 1. С. 232—242.

Л.М. Лукьянова
Калининградский государственный технический университет, Россия
e-mail: llm_llm@mail.ru

ПРОБЛЕМА НЕСИСТЕМНОСТИ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ И СРЕДСТВА ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Введение

Несистемность планов функционирования и программ развития сложных объектов часто выявляется при их реализации. Это влечет издержки, порой существенные, с неизбежностью которых, кажется, смирилось большинство исполнителей программных и планировочных решений, но не их руководители.

Отмеченная в [1] проблема недостаточной проработанности средств принятия решений по системным объектам остается актуальной и сегодня, несмотря на достижения в области системной методологии. Объяснение этому — большой вес в средствах принятия системы решений субъективного компо-

© Лукьянова Л.М., 2016

нента (здравого смысла, интуиции лица, принимающего решения (ЛПР), и т. д.) и слабая разработанность формальных механизмов выявления неполноты, противоречивости, несогласованности в результатах использования соответствующих методов. Вследствие этого требование системности решений редко удовлетворяется на этапе их выработки. Поздняя же корректировка несистемности ведет к превышению объемов ресурсов, запланированных на реализацию решений.

В производственной сфере, в которой число проблем управления традиционно велико, в частности для капиталоемких систем класса «организационно-технический комплекс» (ОТК, или комплекс), — до 55 % от общего числа проблем, а проблем планирования — до 16 % [2], перерасход запланированных ресурсов нередко оказывается слишком высоким, что снижает эффективность функционирования производственных систем. Все это требует развития системной методологии, способствующей правильной реализации процесса формирования решений по ОТК и создающей возможность разработки системы поддержки принятия решений, обнаруживающей и помогающей устранять возможные логические просчеты и неполноту решений, выработанных ЛПР.

1. Неопределенности при выработке системы решений

Один из источников логической некорректности и неполноты решений по ОТК — регулятивные компоненты системной методологии, в частности системная парадигма и принципы.

Для уточнения системных принципов использованы следующие положения: «важнее выбрать “правильные” цели, нежели “правильную” систему. Выбрать не ту цель — значит решить не ту задачу; выбрать не ту систему — значит… выбрать неоптимальную систему», «цели дают логическое основание для синтеза систем» [3]. Отсюда следует, что для выполнения регулятивной функции в процессе выработки системы решений по ОТК цели комплекса должны быть системно

увязаны, а именно должны быть в определенном смысле полны и логически корректны (едины между собой, с целями надсистемы и потребностями окружающей среды).

Учитывая, что на начальном этапе выработки системы решений по ОТК в общем случае осуществляется целеполагание (ЦП) и анализ целей, в результате которого формируется иерархическая структура целей (или сводимая к таковой), отметим, что ошибка в цели некоторого уровня влечет ошибки в связанных с ней целях нижележащих уровней структуры, а в процессе целедостижения (ЦД) — частичное достижение целей вышележащих уровней. Именно поэтому важно своевременно выявлять и исправлять субъективные ошибки логической некорректности и неполноты результатов ЦП и анализа целей. При этом надо учитывать, что целеполагание основывается на системе ценностей ЛПР, его знаниях и опыте, биопрограммах, эмоциях и интуитивном мышлении, адекватным языком которого (языком целей) является, как известно, естественный язык, которому присуща смысловая неопределенность. Это влечет трудности оценивания правильности реализации ЛПР процессов ЦП и анализа целей и корректности их результатов.

Не удовлетворяющие же требованиям логической корректности и полноты цели не могут выполнять регулятивную функцию, что и приводит к логической некорректности и неполноте базирующихся на целях результатов последующих этапов формирования системы решений, определенных по результатам анализа выработки и реализации решений в ряде производственных ОТК (рис. 1).

Результат конкретизации термина «система» применительно к объекту рассматриваемого класса состоял в выработке конструктивного определения данного понятия, экспликации характеристических свойств ОТК и обеспечения возможностей оценивания их логических значений в процессе выработки системы решений по ОТК [2].

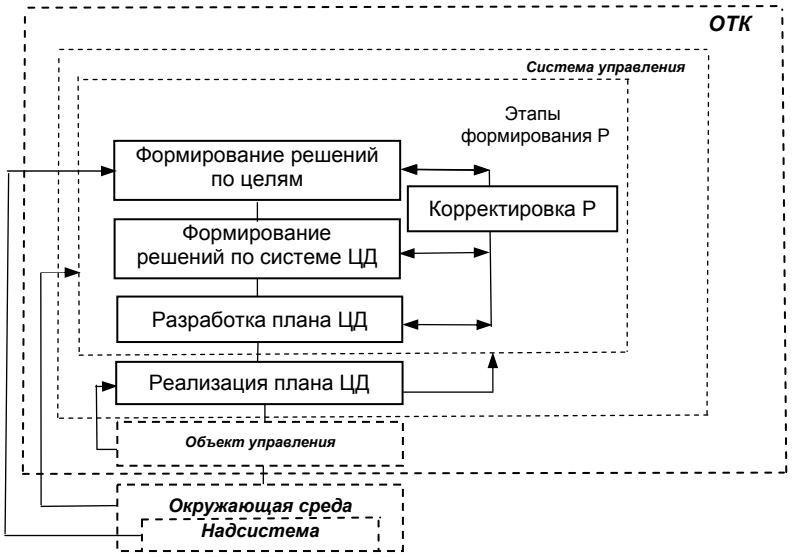


Рис. 1. Схема формирования и реализации системы решений (Р)

В результате было дано следующее конструктивное определение ОТК. Приведем его в нотации Бэкуса-Наура:

< (*ОТК как*) **система** >::= < (*ОТК как*) **целостность** >< (*ОТК как единое*) **целое** >
<целостность (*ОТК*)>::=< обособленность > <целостность целей> < целостность макроскопических свойств > <целостность структур>
< целостность целей (*ОТК*) >::= < конечная цель (*ОТК*), совместимая с целями надсистемы (потребностями окружающей среды) > < структура целей (*ОТК*) > < структурная схема ЦД, совместимая со структурой целей >
< целостность макроскопических свойств ОТК >::= < функция (*ОТК*), совместимая с конечной целью > < совокупность макроскопических свойств (*ОТК*), согласованных с функцией >
< целостность структур (*ОТК*) >::= < совокупность структур (*ОТК*), согласованных со структурой целей > < совокупность структур (*ОТК*), согласованных со структурной схемой ЦД >
…

<(*ОТК как единое*) **целое**>::=<совокупность частей (ОТК)> < совокупность отношений между частями >
…
< часть (*ОТК как единого целого*) >::= < компонент (*ОТК как системы*) >
< компонент (*ОТК как системы*) >::=< подсистема >]< элемент >
< элемент >::= < предмет > < совокупность свойств предмета >
< предмет >::= ПРЕДМЕТ1 | ПРЕДМЕТ2 |…| ПРЕДМЕТ*N*
….

Дальнейшее уточнение «целостности» как сложного категориального образования, выполняющего познавательную функцию в силу слоистой структуры, образуемой актуальным и потенциальным знанием [4], позволило определить его частные свойства, при выборе которых мы исходили из их необходимости и достаточности для логического описания системы решений по ОТК. Для этого были конкретизированы:

1) фаза выработки решений — *выработка решений по системе целей* (САСЦ — согласование результатов анализа и синтеза целей) или *выработка решений по ОТК как системе ЦД* (ССЦД — согласование системы ЦД с системой целей);

2) местонахождение наблюдателя — вне (вне) ОТК или внутри (внут) него.

Обозначив местонахождение наблюдателя правым верхним индексом в обозначении фазы выработки решений по ОТК, воспользуемся установленными значениями выбранных признаков для получения всех комбинаций фаз и местонахождений наблюдателя: САСЦ^{вне}, САСЦ^{внут}, ССЦД^{вне}, ССЦД^{внут}. Обозначив целостность ОТК знаком Θ и проиндексировав его найденными комбинациями, получим полный в указанном смысле набор частных свойств целостности данной системы:

1) целостность комплекса $\Theta_{САСЦ^{вне}}$, определяемая внешним наблюдателем в фазе САСЦ;

2) целостность комплекса $\Theta_{САСЦ^{внут}}$, определяемая внутренним наблюдателем в фазе САСЦ;

3) целостность комплекса $\Theta_{\text{ССЦД}^{\text{вне}}}$, определяемая внешним наблюдателем в фазе ССЦД;

4) целостность комплекса $\Theta_{\text{ССЦД}^{\text{внут}}}$, определяемая внутренним наблюдателем в фазе ССЦД.

Рассмотрим далее задачи формирования решений по ОТК.

2. Задачи выработки системы решений

Руководствуясь уточненными системными принципами, осуществим стратификацию задач, решаемых на этапах формирования решений по ОТК (и результатов решения задач), выделив две страты их описания: логическую (качественная, содержательная) и математическую (количественная). Первая группа логических задач, составивших предмет данного исследования, — это задачи, решение которых обеспечивает логическую корректность и полноту результатов отдельных этапов выработки системы решений. Вторую группу — задачи, обеспечивающие логическую совместимость результатов двух или более не обязательно смежных (а в итоге всех) этапов выработки решений по ОТК (отметим, что постановка логических задач снизила неопределенность процесса выработки решений по ОТК, а их решение обеспечило логическую корректность и полноту результатов данного процесса [2]).

На основе схемы на рисунке 1 была определена структурная схема разработки исходной базы методологии формирования системы решений по комплексу (рис. 2).

Обозначим логические функции оценивания истинностных значений четырех частных свойств целостности ОТК, ОТК как единого целого и как системы через $f_1 — f_4, f_5, f_6$ соответственно. Порядок определения с их помощью оценок конкретного ОТК задает приведенное выше конструктивное определение данной системы. Случай истинности значений всех шести функций свидетельствует о системности решений по ОТК. В противном случае имеют место те или иные отклонения от системности, которые будут подробно рассмотрены в докладе.

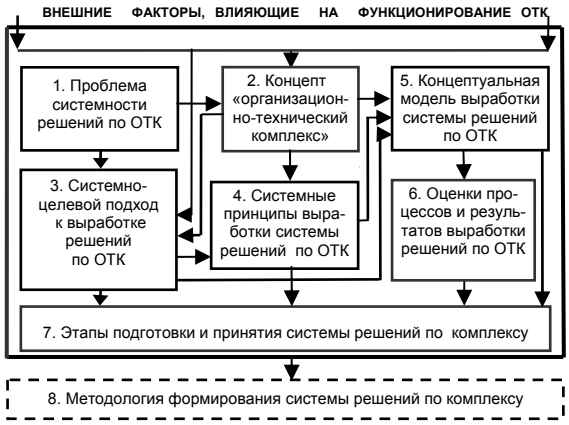


Рис. 2. Структурная схема разработки исходной базы методологии формирования решений по ОТК

3. Средства формирования системы решений

При разработке средств формирования системы решений использованы ситуационный и семиотический подходы [5; 6]. Так, в рамках ситуационного подхода определены классы основных ситуаций на кусте структуры целей, две из которых характеризуют логическую корректность куста целей по подчинению (класс 5) и соподчинению (класс 8), а третья — его полноту (класс 13), остальные — возможные просчеты ЛПР **(**наиболее серьезные по ресурсным потерям: изолированность цели (класс 1), противоречивость (класс 9) и неполнота целей (12)**)**.

В рамках семиотического подхода разработаны, в частности, средства, объективирующие субъективные модели ЦП и анализа целей [2]:

— фреймовые модели формулировок целей, реализованные в частично формальном языке (*лингвистические средства*),

— графосемантические модели тезауруса предметной области, АСЦ, ССЦ (*структурные средства*);

— семиотическая модель рассуждений о целях (вырабатываемых ЛПР при формировании АСЦ и ССЦ и описываемых в лингвистической форме), подтверждающая логическую корректность и полноту АСЦ и ССЦ или опровергающая и исправляющая цели ЛПР (*логико-лингвистическое средство вывода целе*й).

Подробно эти и другие логические и математические средства, включая модифицированный метод анализа иерархий, обеспечивающий решение математических задач принятия решений по цели и кусту целей, будут рассмотрены в докладе.

Заключение

Использование предложенных средств в управлении рыбохозяйственными и агропромышленными комплексами, для которых наряду с большой капиталоемкостью характерна непредсказуемость состояний окружающей среды, позволяет существенно (до 10 %) снизить непроизводственные расходы, вызываемые несистемностью программных и планировочных решений по данным видам ОТК.

Список литературы

1. *Ларичев О.И.* Принятие решений как научное направление: методологические проблемы // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. 1982. М., 1982. С. 227—243.

2. *Лукьянова Л.М.* Теоретико-методологические основы формирования системы целей организационно-технического комплекса производственной сферы. Калининград : Изд-во КГТУ, 2013.

3. *Холл А.Д.* Опыт методологии для системотехники. М. : Сов. радио, 1975.

4. *Блауберг И.В.* Целостность и системность // Системные исследования. Методологические проблемы. М., 1977. С. 5—28.

5. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление. Новый виток развития // Изв. РАН. Теория и системы упр-я. 1995. №5. С. 152—159.

6. *Осипов Г.С.* От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. 2002. №6. С. 3—7.

В.И. Тищенко[1], И.В. Храмоин[2]
Институт системного анализа ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
e-mail: [1]vtichenko@mail. ru; [2]ivan_khramoin@yahoo. com

МЕТОД АНАЛИЗА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СООБЩЕСТВ КАК СРЕДСТВО ВЫЯВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ТРЕНДОВ

Введение

Результаты мониторинга и точная интерпретация данных о научных и технологических (S&T) тенденциях востребованы в широком спектре заинтересованных сторон (государство, бизнес, исследовательские институты, а также широкая общественность), участвующих в разработке и практическом применении долгосрочных прогнозов.

Задачи выявления новых S&T тенденций могут быть решены по-разному, с использованием разных методов и различных методологических подходов. Как правило, исследования, связанные с прогнозированием развития фундаментальной науки и анализом перспектив практической востребованности ее достижений, основываются на рассмотрении своего рода «оценки возможностей». По преимуществу данный подход носит ретроспективный характер и опирается на статистический либо экспертный анализ имеющихся заделов в рамках определенным образом заданного множества тематических направлений, условий их реализации, ограничений и возможных сроков реализации. Особенно широко такие процедуры используются при подготовке государственных исследовательских программ, ключевая задача которой — выбор и расстановка тематических приоритетов [1; 2].

По большей части исследования новых S&T тенденций осуществляются на основе интеграции традиционных методов прогнозирования, таких как экспертные методы (Форсайт-экс-

© Тищенко В. И., Храмоин И. В., 2016

пертизы, интервью, опросы, фокус-группы и семинары и т. д.) и автоматические методы с применением статистического анализа и средств интеллектуального анализа данных в таких текстах, как научные публикации и патенты [3; 4]. Однако вопрос об использовании и сопоставлении основных и дополнительных источников информации для мониторинга S&T тенденций не получил достаточного освещения в литературе [5].

Применяются также традиционные способы выявления приоритетов при рассмотрении определенной совокупности научных направлений — от целенаправленного распределения «портфелей» [6; 7] до многоэтапных процессов/итераций вовлечения широкого круга участников с использованием ими статистических или многокритериальных инструментов анализа. Подобные подходы особенно эффективны в крупных международных программах исследований и разработок, финансирование которых ведется несколькими организациями.

Широко распространено также мнение, что решение задач рационализации и повышения эффективности процесса отбора приоритетов в науке и инновационной сфере, в том числе и работы экспертов в соответствующих фондах, связано в значительной степени с применением формализованных процедур и статистических методов исследования [8]. В качестве одного из таких методов рассматривается метод автоматизированного интеллектуального анализа больших объемов неструктурированных данных различного характера. По мнению сторонников этого метода, использование информационных технологий позволит не только собрать и систематизировать информацию из объемных, распределенных и гетерогенных источников, но и визуализировать и проанализировать ее.

Еще один значимый метод автоматизированного интеллектуального анализа данных, который все шире используется, — метод кластеризации коллекций документов как наиболее востребованный автоматический способ обработки информации [9; 10]. В рамках этого направления предложены автоматизированные методы выделения тем исследований и анализа на-

учных коллективов [11; 12] с применением систем OntosMiner/SGE и LightOntos [13] или автоматической кластеризации находящихся в открытом доступе научных публикаций [14].

В основе методов автоматизированного интеллектуального анализа данных, основывающихся на поиске статистических характеристик документов, лежат науковедческие представления о науке как «корпусе научных публикаций» [15; 16]. В соответствии с этой методологией «в качестве единицы анализа может быть принята статья в научном журнале», которая анализируется с помощью применения лингвистических маркеров с целью выявления процедуры введения нового предмета (авторской дефиниции) в научный оборот [8]. Это позволяет отследить появление нового термина/дефиниции в совокупности анализируемых научных публикаций. Это, в свою очередь, обеспечивает формирование процедуры определения авторитетности ученого/автора публикации, в результате публикационной активности которого был введен в научный оборот *новый термин* [17].

Представление о науке как исключительно исследовательской деятельности, в результате которой приобретается новое знание, лежит в основе представленных выше не только интеллектуальных, но и экспертных методов выделения S&T тенденций. И соответственно «естественной» формой существования науки оказывается непосредственный акт приращения знания (научное открытие, решение проблемы и т. п.), предстающий в виде публикации.

Между тем очевидно, что образ науки не может быть сведен к постоянно возрастающему массиву верифицированного научного знания, в каком бы виде он не был представлен. Наука — это сложный процесс «разворачивания» процедуры структурирования предметного пространства, предстающего перед исследователем как пространство в результате социальной/познавательной коммуникации участников научного познания [18]. В основе данной модели лежит представление о предметном пространстве как системе виртуальных коммуни-

каций или взаимодействий участников этих коммуникаций. Соответственно элементами этого пространства науки выступают не документы, а непосредственно участники виртуального информационного общения (коммуникации), характеризующиеся вычисляемой коммуникативной активностью.

На основе использования этого подхода проведен статистический анализ формирования новых предметно-тематических областей в сложных коммуникационных сетях в экспериментально сформированной масштабной коллекции научных публикаций из открытых источников Интернета.

В отличие от описанных в литературе методов картирования научных направлений и способов выявления приоритетных трендов развития научных исследований [19—22] разработанный метод основан на последовательной поэтапной автоматической кластеризации в предметно-фреймовом пространстве с использованием семантических детерминантов неструктурированных масштабных коллекций научных публикаций. Этот метод позволяет устанавливать взаимосвязь развития виртуальных научных сообществ с предметным развитием фундаментальной науки, определять по всплеску профессионального интереса в научном сообществе конечные временные отрезки возникновения перспективных направлений научных исследований.

Методология и основные результаты

Для решения задачи был разработан и протестирован экспериментальный метод определения приоритетных направлений исследований в фундаментальной науке с помощью метода кластеризации научных коллективов в предметно-фреймовом пространстве. Размер временного фрейма был эмпирически определен так, чтобы он позволил произвести оценку динамики развития предметных областей, при этом не разбивая искусственно этапы развития. Эмпирически подобран коэффициент близости, который позволяет объединить коллективы

в одну предметную область. Его величина определена таким образом, чтобы объединяемые коллективы были близки по тематике своей работы на уровне научного направления [23].

В качестве массива документов была проанализирована коллекция научных публикаций в журналах за период с 1998 по 2015 г., находящихся в открытом доступе в сети и входящих в зарегистрированный ВАК список. Информационная база была предоставлена поисковой интеллектуальной системой Exactus Expert (http://expert.txactus.ru) и содержала 2 млн документов.

Метод состоит из шести шагов:

1. Определение временного фрейма с наложением, в рамках которого будет проводиться анализ.
2. Построение научного коллектива для каждого фрейма.
3. Построение ключевой лексики документов, на основе которых были построены коллективы.
4. Кластеризация коллективов внутри каждого фрейма на основе списка ключевых слов и их весов.
5. Построение ключевой лексики для каждого кластера коллективов.
6. Поиск уникальных кластеров (для которых нет похожих кластеров во фреймах, отражающих более ранние промежутки времени).

Предложенный метод определения приоритетных направлений исследований в фундаментальной науке с помощью кластеризации научных коллективов в предметно-фреймовом пространстве позволил выделить популярные предметные области, освещаемые в научных работах за период 2009—2015 гг. Они были охарактеризованы набором ключевых слов, которые активно используются авторами научных работ, посвященных этим областям. Была произведена оценка их популярности на основе множества авторских коллективов.

Выделенные предметные области были проанализированы с целью поиска эволюции предметных областей из одного временного промежутка в другой. Это позволило выявить пред-

метные области, интерес к которым в научном сообществе растет, а также определить возможные направления развития. Также были найдены предметные области, которые только недавно вызвали интерес у научного сообщества.

В результате применения разработанного алгоритма автоматически выделены кросс-временные предметные области, анализ эволюции которых во временных промежутках позволил определить моменты возникновения и роста профессиональных тематических интересов в научном сообществе.

Список литературы

1. *Poh K.L., Ang B.W., Bai F.* A comparative analysis of R&D project evaluation methods // R&D Management. 2001. Vol. 31, №1. P. 63—75.

2. *Salmenkaita J.-P., Salo A.* Rationales for government intervention in the commercialisation of new technologies // Technology Analysis and Strategic Management. 2002. Vol. 14, №2. P. 183—200.

3. *Kim Y., Tian Y., Jeong Y. et al.* Automatic Discovery of Technology Trends from Patent Text // Proc, SAC'09, March 8—12, 2009, Honolulu, Hawaii. N. Y., USA : ACM, 2009. P. 1480—1487.

4. *Wang M.-Y., Chang D.-S., Kao C.-H.* Identifying technology trends for RD planning using TRIZ and text mining // RD Management. 2010. Vol. 40, №5. P. 491—509.

5. *Mikova N., Sokolova A.* Global Technology Trends Monitoring: Theoretical Frameworks and Best Practices // Foresight-Russia. 2014. Vol. 8, №4. P. 64—83.

6. *Stewart T.J.* A multi-criteria decision support system for R&D project selection // Journal of the Operational Research Society. 1991. Vol. 42, №1. P. 17—26.

7. *Oral M., Kettani O., Lang P.* A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects // Management Science. 1991. Vol. 37, №7. P. 871—885.

8. *Кузнецова Ю.М., Осипов Г.С., Чудова Н.В.* Изучение положения дел в науке с помощью методов интеллектуального анализа текстов // Управление большими системами. Специальный выпуск 44 : Наукометрия и экспертиза в управлении наукой. 2013. С. 106—138.

9. *Manning C., Raghavan P., Schütze H.* Information Retrieval. Cambridge University Press, 2008.

10. *Norbert F., Lechtenfeld M., Stein B., Gollub T.* The optimum clustering framework: implementing the cluster hypothesis // Information Retrieval. 2012. Vol. 15, № 2. P. 93—115.

11. *Хорошевский В.Ф.* Пространства знаний в сети Интернет и SemanticWeb (Часть 1) // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. №1. С. 80—97.

12. *Хорошевский В.Ф.* Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (Часть 2) // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. С. 15—36.

13. *OntosMiner* Программные продукты, предназначенные для анализа текстовых документов. URL: http://asknet.ru/Analytics/ontos.htm.

14. *Швец А.В., Девяткин Д.А., Смирнов И.В. и др.* Исследование систем и методов наукометрического анализа научных публикаций // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. №3. С. 62—71.

15. *Чернявская В.Е.* Интерпретация научного текста. Изд. 5-е. М., 2010.

16. *Чернявская В.Е.* Коммуникации в науке: нормативное и девиантное. Лингвистический и социокультурный анализ. М., 2011.

17. *Кузнецова Ю.М., Осипов Г.С., Чудова Н.В. и др.* Автоматическое установление соответствия статей требованиям к научным публикациям // Труды ИСА РАН. 2012. Т. 6, №3. С. 132—138.

18. *Смирнов Г.А., Тищенко В.И.* Принципы сетевой методологии познания. // Выявление приоритетных направлений: междисциплинарный подход. М. : ИМЭМО РАН, 2016. С. 120—139.

19. *Девяткин Д.А., Швец А.В.* Экспериментальный метод автоматического выделения тем исследований и научных коллективов // Труды тринадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2012. Белгород : БГТУ, 2012. Т. 2. С. 90—100.

20. *Девяткин Д.А., Суворов Р.Е., Соченков И.В.* Метод тематической кластеризации масштабных коллекций научно-технических документов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. №1. С. 33—42.

21. *Хорошевский В.Ф.* Извлечение информации из текстов на конференциях серии «Диалог»: взгляд соседа по лестничной клетке // Труды международной конференции «Диалог-2010». 2010. С. 538—546.

22. *Хорошевский В. Ф.* Выявление новых технологических трендов: проблемы и перспективы // Труды 13 национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. Белгород, 2012. С. 252—259.

23. *Храмоин И. В.* Анализ динамики приоритетных направлений исследований методом кластеризации научных коллективов в предметно-фреймовом пространстве // Выявление приоритетных направлений: междисциплинарный подход. М. : ИМЭМО РАН, 2016. С. 114—119.

Р. Ш. Хабибулин, С. В. Гудин
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия
e-mail: kh-r@yandex. ru

МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ РИСКАМИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Введение

Необходимость адаптации современных промышленных предприятий к новым условиям (уменьшение финансовых средств на обеспечение пожарной безопасности, износ технологического оборудования, проблемы с кадровым составом, изменение окружающей среды и т. д.) требует внедрения новых информационных технологий управления, учитывающих интеллектуальный потенциал организации [1].

Под управлением пожарными рисками понимается определение и разработка оптимальных действий (мероприятий), направленных на реализацию решений в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты нефтегазовой отрасли. При этом главная цель адаптивного управления — установление, поддержание и восстановление нормативно установленного уровня пожарного риска в условиях неопределенности и высокой динамики.

© Хабибулин Р. Ш., Гудин С. В., 2016

1. Обоснование разработки МАС

Цель разрабатываемой многоагентной информационной системы (МАС) поддержки управления пожарными рисками — обеспечение пожарной безопасности объекта защиты с использованием эффективных управленческих методов на основе инструментария пожарных рисков и с учетом системной согласованности всех заинтересованных сторон.

При этом необходимо учитывать множество таких факторов, как [2]:

— большое количество сценариев пожароопасных ситуаций;

— многообразие моделей расчета опасных факторов пожара;

— распределенность наружных технологических установок и сооружений на территории производственного объекта;

— наличие в системе управления объектов разной сущности («физической» и «абстрактной») и целевой направленности: людских (работник, управленец, инженер, экономист, представитель надзорных органов, житель селитебной зоны и др.), технологических (наружные технологические установки, системы противопожарной защиты и др.);

— возможность возникновения конфликтных, противоречивых ситуаций в области обеспечения пожарной безопасности;

— множество возможных мероприятий по управлению пожарными рисками;

— выбор методов по оптимизации мероприятий по управлению пожарными рисками с технической и экономической точки зрения.

2. Описание агентов

В таблице рассмотрен состав агентов (классов агентов), которых можно разделить согласно их функциям и решаемым задачам в области управления пожарными рисками на два взаимодействующих уровня: технологический и управленческий.

Состав и функции агентов

Агент (класс агентов)	Функция
Первый (технологический) уровень МАС	
Технологические установки	— передача параметров пожарной опасности для расчета величин пожарных рисков — согласование изменений параметров пожарной опасности с программой по расчету значений пожарных рисков
Системы противопожарной защиты	— передача параметров системы для расчета величин пожарных рисков — согласование изменений параметров системы с программой по расчету значений пожарных рисков
Нормативно-техническая база	— передача нормативно-технических требований для расчета величин пожарных рисков — согласование изменений нормативно-технических требований с программой по расчету значений пожарных рисков
Программа по определению значений пожарных рисков	— расчетное определение величин пожарных рисков — формирование мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта защиты — согласование мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта защиты с инженером пожарной безопасности
Второй (управленческий) уровень МАС	
Инженер пожарной безопасности	— контроль противопожарного режима на объекте защиты — согласование решений по обеспечению пожарной безопасности с экономистом и руководителем объекта защиты
Руководитель объекта защиты	— контроль, согласование деятельности инженера пожарной безопасности и экономиста объекта защиты — формирование системы управления пожарной безопасностью объекта защиты

Окончание табл.

Агент (класс агентов)	Функция
Экономист объекта защиты	— экономическое обоснование мероприятий по обеспечению пожарной безопасности (управления пожарными рисками) — согласование решений по обеспечению пожарной безопасности с инженером пожарной безопасности и руководителем объекта защиты
Специалист надзорных органов в области пожарной безопасности	— контроль соблюдения требований пожарной безопасности на объекте защиты — согласование решений по обеспечению пожарной безопасности с инженером пожарной безопасности и руководителем объекта защиты

Также необходимо отметить, что под указанными в таблице агентами рассматриваются классы агентов, так как число экземпляров таких агентов может варьироваться в зависимости от масштаба объекта защиты. Например, для крупных распределенных объектов нефтегазовой отрасли (нефтезаводы, газораспределительные станции и др.) может быть несколько инженеров пожарной безопасности, руководителей объекта защиты, а также различные специалисты надзорных органов в области пожарной безопасности. То же самое касается и технологического уровня МАС, так как разнообразие наружных технологических установок, систем противопожарной защиты также достаточно велико.

Структура МАС

Главная задача при разработке структуры МАС — достижение согласованного определения всех необходимых действий (мероприятий) по снижению величин пожарных рисков до допустимых величин в случае изменения обстановки, а также осуществление поддержки принятия решений для разработки

стратегической программы управления рисками с целью обеспечения пожарной безопасности объекта защиты. Обобщенная структура разрабатываемой МАС представлена на рисунке.

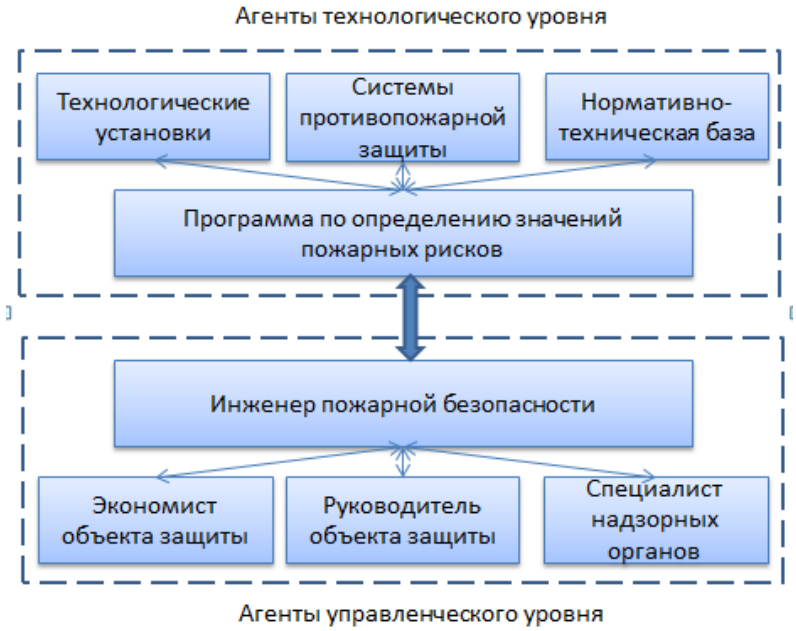


Рис. Обобщенная структура МАС

Концепция работы уровней МАС

При активизации среды МАС агенты технологического уровня получают и передают информацию между собой в соответствии со схемой информационного обмена. Агент-программа по расчету риска рассчитывает значения величин пожарных рисков, формулирует мероприятия по управлению пожарными рисками (снижение или допустимое увеличение), согласовывает мероприятия со вторым (управленческим) уровнем МАС через агента-инженера пожарной безопасности.

При активизации среды МАС агенты управленческого уровня с учетом взаимодействия с технологическим уровнем получают и передают информацию между собой в соответствии со схемой информационного обмена. Агент-инженер пожарной безопасности согласовывает и в случае необходимости корректирует сформулированные мероприятия по управлению пожарными рисками с экономистом и руководителем объекта защиты. Результаты работы согласовываются с агентом-специалистом надзорных органов в области пожарной безопасности.

Основной, системообразующей составляющей разрабатываемой МАС является оптимизация технических и экономических ресурсов для эффективного управления пожарными рисками в условиях изменяющейся динамической среды, с учетом изменения множества параметров, влияющих на величины пожарных рисков во времени (изменения технологических параметров, влияющих на пожарную опасность, появление новых объектов в селитебной зоне, изменения законодательства в области обеспечения пожарной безопасности и др.).

Различные варианты применения МАС: при проектировании нового объекта защиты, модернизации существующего объекта, изменении параметров внешней среды или технических нормативов (ГОСТов, сводов правил и т. п.).

С учетом циклической работы и схем информационного обмена при поступающих возмущениях (изменениях параметров технологического или управленческого уровня, например увеличения объема пожароопасной жидкости в наружной технологической установке, изменениях противопожарных расстояний между объектами на территории, снижения финансирования работ по обеспечению пожарной безопасности) происходит адаптация, т. е. перестройка системы в новое состояние, с выработкой программы действий по управлению пожарными рисками с учетом ранжирования по приоритетности для обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в новых условиях.

Указанный подход и двухуровневая структура МАС позволяют согласовывать программу действий по управлению

пожарными рисками, повысить эффективность бизнес-процессов управленческого уровня с учетом различных моделей оптимизации. Например, задача оптимизации расположения новой технологической установки на ограниченной территории реализована с применением генетических алгоритмов [3].

Заключение и направления дальнейшей работы

Преимуществом разрабатываемой МАС является повышение эффективности принятия решений по управлению пожарными рисками за счет гибкости, открытости, возможности масштабирования и интеграции в рамках развития единого информационного пространства управления пожарной безопасностью объектов нефтегазовой отрасли [4].

В дальнейшем планируется развитие разрабатываемой МАС «Управление пожарными рисками» за счет внедрения интеллектуальных агентов-программ для управления знаниями в области предупреждения пожаров на рассматриваемых объектах защиты. Агенты в своем составе формируют базы знаний и функционал экспертных систем поддержки принятия решений по выявлению и предупреждению пожаров на объектах нефтегазовой отрасли [5]. Данный класс агентов позволит повысить эффективность принятия решений по управлению пожарными рисками с точки зрения их своевременного выявления и предупреждения.

Список литературы

1. *Хабибулин Р. Ш.* Интеллектуализация управления пожарной безопасностью на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы : сб. ст. по материалам VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. 23—24 сент. 2015 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. Воронеж, 2015. Ч. 1. С. 22—25.

2. *Хабибулин Р. Ш.* Обоснование мультиагентного подхода в разработке информационной системы поддержки управления пожарной безопасностью на производственных объектах нефтегазовой отрасли //

Информатика: проблемы, методология, технологии : сб. материалов XVI междунар. науч.-метод. конф. Воронеж, 11—12 февраля 2016 г. Воронеж : Изд-во «Научно-исследовательские публикации», 2016. С. 242—246.

3. *Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш.* Оптимизация расположения технологической установки на территории производственного объекта на основе генетического алгоритма // Материалы 8-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2015) : в 3 т. Ростов н/Д : Изд-во Южного федерального университета, 2015. С. 54—56.

4. *Хабибулин Р.Ш.* Интеграция информационного пространства управления пожарной безопасностью на объектах промышленности // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. 23—24 окт. 2015 г. Кокшетау : КТИ КЧС МВД РК, 2015. С. 215—217.

5. *Хабибулин Р.Ш., Зуев Н.Ю., Картавцев К.А.* Подсистема управления знаниями в системе пожарной безопасности объектов нефтепереработки // Материалы 24 междунар. науч.-техн. конф. «Системы безопасности-2015». М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 461—462.

Секция 3

МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И РОЕВОЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Руководители секции — д-р физ.-мат. наук, доц. А. В. Павлов
канд. техн. наук, доц. В. Б. Тарасов

А. Ф. Берман, О. А. Николайчук, А. И. Павлов
Институт динамики систем и теории управления им. А. М. Матросова
Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия
e-mail: berman@icc. ru

АГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЗАДАЧ

Проблема анализа отказов и аварий сохраняет свою актуальность вследствие непреодолимого проявления несовершенств и/или нарушений методов и средств обеспечения безопасности на всех стадиях и этапах создания и применения сложной технической системы (СТС). Анализ всего комплекса факторов и параметров, инициирующих и сопровождающих процессы, явления, события и состояния, обусловливающие отказы и аварии, требует знаний практически всех общеинженерных дисциплин, что характеризует проблему как мультидисциплинарную.

Значительное число отказов СТС и последующих за этим аварий вызвано отказами уникальных механических систем (УМС), входящих в состав СТС. Под УМС понимаются системы, изготавливаемые в 1…5 экземплярах, эксплуатируемые в отличающихся условиях и реализующие экстремальные технологические операции в составе СТС. Отказы УМС обуслов-

© Берман А. Ф., Николайчук О. А., Павлов А. И., 2016

лены процессами деградации их свойств до такой степени, когда они перестают выполнять возложенные на них функции, в частности обеспечение безопасности.

Предотвращение аварий СТС связано с задачей понижения вероятности отказов УМС, которая, в свою очередь, в значительной степени зависит от точности прогнозирования динамики их технического состояния. Последняя определяется факторами, обусловливающими протекание деградационных процессов в элементах УМС.

Применение технологий агентного имитационного моделирования — один из эффективных способов исследования сложного объекта при отсутствии аналитических моделей и представительной статистической выборки, в частности для решения задачи прогнозирования технического состояния УМС. В настоящее время многоагентные системы применяются для решения аналогичных задач, например задач технической диагностики сложных объектов [1], проектирования объектов в машиностроении [2].

Цель работы — создание агентной модели для решения задачи прогнозирования технического состояния УМС, делающей возможной обработку разнородной по степени формализации и мультидисциплинарной информации рассматриваемой предметной области, а также инструментального средства для ее реализации.

Создаваемое инструментальное средство относится к классу систем, обеспечивающих [3] сквозную поддержку всех фаз жизненного цикла агентно-оринтированных (АОС) и мультиагентных систем (МАС); наличие единой интегрированной среды разработки всех компонентов АОС; поддержка различных категорий пользователей; обеспечение средств визуального проектирования; автоматическое создание исполняемых программных кодов интеллектуальных агентов; поддержка коллективной работы над проектом системы и автоматизированного документирования всех фаз процесса разработки.

В основе разрабатываемой модели агентной системы лежит модель, предложенная В.Б. Тарасовым [4], включающая описание агентов, сред и их возможных действий.

Полагаем, что для обработки разнородной и мультидсциплинарной информации множество агентов A должно быть интеллектуальным. В работе используется понятие «интеллектуальный агент» — это программный или аппаратный объект (сущность), автономно функционирующий для достижения целей, поставленных перед ним владельцем или пользователем, обладающий определенными интеллектуальными способностями [5].

Разработанная модель агентной системы для имитационного моделирования, учитывающая возможность оценки экспертных решений, имеет структуру:

$$AM = (A, E, R, ORG, ACT, Ont),$$

где A — множество интеллектуальных агентов; E — множество сред, находящихся в определенных отношениях и взаимодействующих друг с другом; R — множество отношений, связывающих среды; ORG — некоторая организация, сформированная из множества сред; ACT — набор индивидуальных и совместимых действий, которыми обладают среды, включая возможные коммуникативные действия; Ont — онтология предметной и проблемной области, описывающая множество объектов $Obj = \{obj\}$ предметной и проблемной области и отношения R_{obj} между ними, $Ont = (Obj, R_{obj})$.

На основе концептуальной информации онтологии об объекте исследования (obj) формируется описание агентов $Ont(obj) \to a$, $a \in A$; связей между агентами: $Ont(R_{obj}) \to ORG$; описание среды: $Ont(E_{obj}) \to E$, $E_{obj} \subset Obj$; описание иерархии сред: $Ont(R_E) \to R$, $R_E \subset R_{Obj}$.

Интеллектуальный агент $a \in A$ описывается следующим образом:

$$a = (C_a, E_a, S_a, ACT_a, H_a),$$

где C_a — состояние агента, описывающее свойства агента и содержащее значения этих свойств в некоторую единицу модельного времени, причем свойства имеют объектно-ориентирован-

ную структуру; E_a — среда, где агент функционирует; S_a — сенсоры агента; ACT_a — действия агента, $ACT_a \subset ACT$, ACT_a = = {*изменить состояние, отправить сообщение*}, в частности:

а) «Изменить состояние» — это реализация поведения агента с помощью оператора H_a. Выполняется на каждом шаге моделирования и включает:

— преобразование сообщений, полученных от других агентов, в соответствующие факты базы знаний (отказ одной из структурных единиц, внешнее воздействие и т. п.).

— преобразования состояния агента в факт «Состояние» в формате используемой базы знаний.

— получение состояний наблюдаемых агентов и преобразование их в соответствующие факты базы знаний.

— запуск логического вывода или поиска решения при помощи методов многокритериального выбора.

— обработка действий (изменение своего состояния).

б) «Отправить сообщение» — сообщение может быть индивидуальным или широковещательным, т. е. отправляется всем агентам.

H_a — оператор, отвечающий за поведение агента в течение всего его жизненного цикла и описывающий закономерности изменения состояний агента (стратегию поведения) по предыстории на основе гибридной информационной модели L_a, в частности:

$$H_a = (V_E, V_S, V_C, V_{DSS}, V_U, L_a,),$$

где V_E, V_S, V_C, V_{DSS}, V_U — операторы формирования новых параметров среды и, возможно, нового поведения при приеме очередной входной информации, информации с сенсоров о результатах мониторинга и диагностирования, информации о выходе одного из параметров состояния на границу области допустимых значений, решения о выборе траектории смены состояния агента, а также управляющего воздействия соответственно. Опишем подробнее оператор выбора траектории смены состояния агента $V_{DSS} : C_a^{DSS} \to C_a^*, C_a^{DSS} \subseteq C_a$, где C_a^{DSS} —

множество допустимых состояний агентов, из которых необходимо выбрать единственное состояние C_a^*, в котором агент будет находиться в следующий момент времени [6].

L_a — гибридная информационная модель, описывающая поведение агента:

$$L_a = \left\{L_a^m\right\}_m,\ L_a^m = \left\langle Ont^{App}, DB^m, KB^m, Mt^m, F^m \right\rangle,$$

где L_a^m — модель поведения агента на m-информационном уровне рассмотрения объекта исследования (Введенное понятие информационного уровня позволяет обеспечивать мультидисциплинарное представление информации. Для задачи обеспечения безопасности механической системы выделяются информационные уровни: деградационных процессов, физический, технический и функциональный);

Ont^{App} — онтология приложения. Онтология описывает совокупность понятий и отношений между ними.

DB^m — база данных m-информационного уровня. Структура базы данных формируется на основе указанной онтологии и хранит фактическую информацию об объекте исследования.

KB^m — базы знаний m-информационного уровня. Базы знаний содержат описания причинно-следственных зависимостей процессов, событий и явлений, происходящих на объекте исследования. Знания позволяют описать скачкообразную динамику технического состояния объекта. Данный компонент является декларативным блоком агентной модели, содержащим стратегию поведения агента, формализованную в виде знаний, представленных продукционными правилами, прецедентами и др. (при реализации агента данный блок содержит ссылку/указатель на сегмент базы знаний).

Mt^m — аналитические модели m-информационного уровня. В этом компоненте содержится программная реализация аналитических моделей, которые позволяют решать задачи, позволяющие описать непрерывную динамику технического со-

стояния объекта. Компонент является императивным блоком агентной модели (при реализации — это ссылки/указатели на модули/процедуры).

F^m — множество отношений m-информационного уровня, определяющих взаимосвязь между компонентами модели: DB^m, KB^m и Mt^m, где $F^m = \left(F^m_{DB-KB}, F^m_{DB-Mt}, F^m_{KB-Mt}\right)$; F^m_{DB-KB} — множество отношений между базами данных и базами знаний; F^m_{DB-Mt} — множество отношений между базами данных и математическими моделями; F^m_{KB-Mt} — множество отношений между базами знаний и математическими моделями. Виды отношений, порядок и способы взаимодействия компонентов модели определяются онтологией.

Новизна модели основана на комплексном использовании методов онтологического моделирования, прецедентных и продукционных систем, вычислительных моделей, а также методов группового выбора, обеспечивающих моделирование и выбор траектории смены состояния агента. Программная реализация агентной модели в виде многоагентной системы обеспечит эффективность системы управления (идентификации, прогнозирования, мониторинга) рисками аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время разработано инструментальное средство для агентного моделирования, реализующее предложенную модель. Архитектура инструментального средства содержит следующие блоки [7]:

1. Блок концептуального моделирования предметной области. Результатом работы этого блока является онтология предметной области, содержащая описание рассматриваемой сложной системы в виде иерархии взаимосвязанных объектов и их свойств.

2. Интегрированная экспертная система на базе JESS, содержащая системную базу знаний, в которой находятся шаблоны, правила и факты, описывающие закономерности процесса создания агентной имитационной модели сложной системы на основе разработанной онтологии предметной области.

3. База расчетных процедур, содержащая описания и сигнатуру методов, доступных для использования агентами в процессе принятия решений. Особенность включаемых в базу процедур состоит в том, что они должны реализовывать методики вычисления конкретных значений, имеющих содержательный смысл для рассматриваемой предметной области, например расчет диаметра области сплошного поражения при взрыве некоторого вещества или расчет атмосферных выбросов теплоэлектростанции в зависимости от ее мощности и типа используемого топлива.

4. База сформированных имитационных моделей, каждая из которых содержит описание агентов, параметры внешней среды и начальные условия.

5. Исполняющий блок, использующий инструментальное средство имитационного моделирования общего назначения MADKIT для обеспечения непосредственного выполнения процесса моделирования.

6. Блок реализации типового агента, обеспечивающий интерпретацию декларативного описания агента и вызов расчетных процедур в процессе имитационного моделирования.

7. Блок инициализации, обеспечивающий создание необходимого количества агентов и определение конкретных параметров внешней среды для выбранной имитационной модели.

Модель и инструментальное средство апробируются для решения задач моделирования динамики технического состояния уникальных механических систем и его прогнозирования, где агентами выступают структурные элементы объекта исследования: детали, сборочные единицы, механические системы, объединенные в соответствующую иерархию. Разрабатываются онтология предметной области, базы знаний и библиотеки расчетных процедур, описывающие дискретно-непрерывное поведение агентов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ, проект № 15-07-05641.

Список литературы

1. *Мирталибов Т.А., Фролов С.Н., Ханис А.Л. и др.* Многоагентные системы в технической диагностике сложных технических объектов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. Т. 1, №3 (60). С. 18—25.

2. *Евгенев Г.Б.* Онтологическая методология создания интеллектуальных систем в машиностроении // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. №6 (651). С. 39—47.

3. *Нарушев Е.С., Хорошевский В.Ф.* AgSDK: инструментарий разработки мультиагентных систем // Тр. VII национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2000. М. : Физматлит, 2000. Т. 2. С. 830—840.

4. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

5. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000.

6. *Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю.* Поддержка принятия решений в мультиагентных системах на основе многометодного оценивания // Шестая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 : тр. конф. : в 2 т. М. : ИСА РАН, 2015. Т. 2. С. 80—85.

7. *Павлов А.И., Столбов А.Б.* Архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем // Программные продукты и системы. 2015. №1 (109). С. 12—16.

Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова
Тверской государственный технический университет, Россия
e-mail: wgp272ng@mail. ru

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ С ЭНДОГЕННО ФОРМИРУЕМЫМИ ЦЕЛЯМИ

Введение

Управление эволюцией интеллектуальных организаций должно быть основано на гармоничном сочетании казуального (причинно-следственного) и теологического (определяемого целями, смысловой, прагматической детерминацией) видения будущего и направлений развития.

© Виноградов Г.П., Виноградова Н.Г., 2016

Движущей силой развития становится деятельность, представленная множеством институциональных построений, ориентированных прежде всего на развитие инновационной активности [1] путем совершенствования видов информационных взаимодействий в функционировании социально-экономических систем, в частности сетевой экономики. Они выступают средством формирования в сознании агентов согласованной «информационной модели» среды их жизнеобитания. Институциональные структуры могут делать процесс и результат информационных взаимодействий управляемым и согласованным.

Одной из наиболее перспективных форм информационного взаимодействия при решении задач эволюции путем поиска, производства нового знания и определения направления его использования становится создание саморазвивающихся инновационных сред. Элементарная часть такой среды — эксперт-профессионал, владеющий современными телекоммуникационными технологиями. Интеграция в сетевой структуре естественных интеллектов образует *коллективный стратегический субъект*, который является средством синергии знаний и действий в процессе развития [2].

1. Системы с эндогенно формируемыми целями эволюции

Социально-экономическая система содержит в себе субъект интересов, объект его интересов, средства реализации интересов и порождаемые ими отношения. В таких системах мотивация активности связана с интересами и со стремлением к их реализации. В работе [2] доказано, что формально интересы агента могут быть представлены двумя показателями: *удельная ценность ситуации целеустремленного состояния по результату* и *удельная ценность ситуации целеустремленного состояния по эффективности*. Мотивацию выбора естественно связывать со стремлением реализации интересов с некоторым *наилучшим результатом*. Формально понятие «наилуч-

ший результат» следует представить, например, в виде отношения удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату к удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по эффективности. Легко заметить, что значения этого показателя является значениями некоторой шкалы, характеризующей субъективное отношение агента к эволюции своего состояния в зависимости от выбранного управления, а также к эволюции системы в целом, если учитывать тот факт, что реализация интересов агента возможна только в рамках системы. Полярные значение этой шкалы: *гибель — доминирование*. Понятно, что оценки по этой шкале будут определять конкретное содержание интересов, степень стремления к их реализации и соответствующие эмоциональные реакции. На значения оценок будут оказывать влияние система ценностей и норм агента, а также его этическая система. Как установлено в [2], система внутренних ценностей, определяющая систему предпочтений, может рассматриваться априорно заданной и инвариантной лишь до тех пор, пока не возникнет ситуация возможной гибели агента или получение таких оценок свойств ситуации целеустремленного состояния, которые он не может считать удовлетворительными. Отметим, что в нормативной теории принятия решений структура предпочтений агента считается априорно заданной [3].

В данной схеме формализации интересов агента можно определить его субъективные оценки желательности различных значений удельной ценности ситуации целеустремленного состояния и через них конкретные значения показателей качества «жизни», к которому стремится агент. Поскольку их значения формируются на основе субъективных оценок ценности и возможности реализации интересов, то интересы агента и соответствующие цели являются *эндогенными*, т. е. формируемыми внутри системы. Структура и конкретные значения целей определяются степенью выражения в них интересов агента через субъективные оценки свойств компонент ситуации целеустремленного состояния.

Таким образом, возможность формального задания структуры и конкретных значений критериев качества жизни позволяет выполнить формальные исследования разрешимости возникающих проблем как перед человеком, так и организацией, а также достаточности имеющихся способов для их решения.

Стремление выжить, не допустить снижение удельной ценности ситуации целеустремленного состояния и обеспечить ее рост, данное в инстинктах, определяют второе свойство любой системы, проявляющей поведение. Оно связано с необходимостью непрерывного изучения своего окружения, а также совершенствования методов и способов действия. Его цель для агента состоит в поддержке прогрессивной эволюции себя как целостной системы.

2. Принципы создания и применения систем управления эволюцией систем с эндогенно формируемыми целями

Пусть организационная система состоит из центра и n подчиненных ему агентов, обладающих свойствами активности, целеустремленности и интеллектуальности. Ее состояние рассматривается как целеустремленное состояние, а результат принятия решения — это результат компромисса между целеустремленными выборами агентов и центра в ситуации целеустремленного состояния с учетом воздействия на систему управляющих воздействий и возмущений внешней среды. Это позволяет под эволюцией понимать последовательность смены ситуаций целеустремленного состояния, происходящих в результате целеустремленного выбора, с целью адаптации и самоорганизации системы по результатам функционирования. Информация о состоянии агентов системы, получаемая центром в процессе управления, используется им для настройки механизма функционирования, который включает в себя процедуры: формирования данных о резервах, планирования, стимулирования, обучения, коучинга, регулирования и т. п. Особенность, например, производства, использующего наукоемкие технологии, связана со специализацией знаний и повы-

шением степени интеллектуализации труда персонала, распределением центров принятия решений и ответственности. Это делает зависимым качество этой информации от выбора агентов и как результат приводит к различной степени эффективности использования производственного, интеллектуального, финансового и другого потенциала. Поэтому одна из важнейших проблем для центра — повышение эффективности системы путем увеличения эффективности функционирования агентов за счет развития их способности видения и учета перспективы, а также последствий принимаемых решений, влияния изменений во внешней среде и случайных факторов. Решение ее возможно на основе соответствующих информационных технологий и средств автоматизации обработки информации. Их внедрение должно позволять согласовывать в целевом состоянии интересы агентов и центра и их оценок ценности ситуации целеустремленного состояния на каждом периоде функционирования системы для поддержания соответствующего уровня мотивации и единого понимания задач персоналом. В этом смысле развитие становится ориентированным на реализацию согласованных интересов, осуществляемое за счет использования эндогенных факторов целеполагания, в определенном смысле путем целенаправленного воздействия на состояние окружения системы, а не путем своей настройки на экзогенно заданную цель. Основные принципы и методы создания и функционирования системы управления эволюцией при таком подходе отражают специфику построения и применения процессов согласования интересов и оценок ситуации целеустремленного состояния путем учета субъективных представлений агентов и активизации их творческого потенциала, построения эффективных схем согласования интересов.

1. *Принцип активного окружения*. Тройка формальных объектов (J, O, $\mathfrak{R}$), в которой J является множеством заинтересованных друг в друге сторон (субъектов интересов); O — множество объектов интересов; $\mathfrak{R}$ — отношение на элементах

множества ($J \times O$), которые могут определять состояние системы с эндогенным принципом формирования целей или его продуцировать, будем называть ее активным окружением.

2. *Принцип коалиции* заключается в образовании при разработке и внедрении системы управления эволюцией ОТС ответственной группы, включающей в себя поставщиков информационных технологий, разработчиков системы, пользователей и руководителей, финансирующих работы, для согласования и подтверждения факта выявления резервов за счет предлагаемых методов совершенствования управления. Такая коалиция прорабатывает и принимает решения по всем стадиям создания системы управления эволюцией ОТС: по объемам финансирования, срокам и этапам работ, оценке достигаемых результатов и т. д.

3. *Принцип моделирования*. Вследствие распределения знания о свойствах предметной области и ограниченных когнитивных возможностей человека особенностью построения и использования системы управления эволюцией ОТС является распределение точек принятия решений и активизация творческого потенциала персонала, что обусловливает применение процедур согласования и согласованной оптимизации. Их цель — формирование представлений на всех уровнях о возможных состояниях системы и окружения. Получение подобной информации вызывает необходимость формирования на стадиях создания и эксплуатации системы управления эволюцией ОТС совокупности моделей (концептуальных, функциональных, информационных, структурных, алгоритмических, эвристических, математических, имитационных и др.) человеко-машинных процессов принятия согласованных решений. Они должны описывать различные функциональности системы, использовать как количественную, так и качественную информацию и образовывать интегрированный комплекс, соответствующий точкам принятия решений. Их интеграция должна быть выполнена на основе теории многоагентных систем, теории интеллектуальных организаций, теории активных систем, мето-

дов и средств моделирования, включая алгоритмический подход, структурное проектирование на основе синергетического принципа дополнительности [2].

4. *Принцип гибкости*. Система управления эволюцией ОТС должна реализовывать технологию построения моделей поведения агентов, согласования решений с помощью разработанных и применяемых информационных и программных продуктов с развитым интерфейсом для формирования состояния убежденности у агентов за счет информационного управления с учетом ограничений на их информационную культуру. Она должна обеспечить применение методов и моделей построения представлений пользователей о предметной области на всех уровнях, их согласование и согласованной оптимизации на множестве компромиссных решений, принятых на основе субъективных представлений, при использовании современных обеспечивающих информационных технологий (хранилищ данных, экспертных систем, средств выявления знаний, предметно ориентированных программных систем и т. д.). Она должна обеспечить решение задач управления при изменении структуры предметной области, модернизации методов и моделей, программных и технических средств.

5. *Принцип применения*. Средства выявления и моделирования процесса формирования субъективных представлений агентов и принятия на их основе решений, процессы управления представлениями, согласования и согласованной оптимизации должны быть составной частью информационных технологий на всех уровнях ОТС и обеспечить методическую, математическую и информационную поддержку деятельности агентов. Они должны быть встроены в естественный процесс управления.

6. *Принцип поэтапного внедрения*. Эффект от разработки и внедрения АСУ по зарубежному опыту лишь в 30% случаев соответствует ожиданиям. Основная причина в этом состоит в различии представлений о целях, задачах, применяемых средств и т. п. у пользователей и разработчиков. Дело в том, что их

разработка и внедрение осуществляется в изменяющейся активной экономической среде, точное описание которой получить в принципе невозможно или нецелесообразно. Поэтому для сокращения сроков и получения реального эффекта от внедрения системы управления эволюцией ОТС необходимо применять принцип распределенного внедрения. Для оценки эффективности решений требуется проведение комплексных экспериментальных работ при использовании предлагаемых средств, реализованных решений в виде игрового имитационного моделирования в упрощенной форме, но учитывающей основные свойства объектов управления.

7. *Принцип визуализации*. Его применение при построении пользовательского интерфейса для обеспечения процессов анализа и согласования информации направлено на формирование образа как вырабатываемого, так и принятого решения. Это дает возможность пользователям выполнять оценку в пространстве показателей соответствующей предметной области, определения ими направления движения в пространстве этих показателей, выбора шагов продвижения в нужном направлении, правил останова процесса, оценках скорости сходимости согласования представлений и решений.

Заключение

В работе представлен подход к построению системы управления инновационной деятельностью, основанный на управляемом информационном взаимодействии участников. Рассмотрены принципы построения системы управления развитием организационно-технологической системы, активно использующей инновации.

Список литературы

1. *Лепский В.Е.* Концепция субъектно-ориентированной компьютеризации управленческой деятельности. М. : Институт психологии РАН, 1998.

2. *Виноградов Г.П.* Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. Тверь : ТГТУ, 2013.

3. *Ларичев О.И., Мовшович Е.М.* Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. М. : Наука, 1996.

А.П. Карпенко
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: apkarpenko@mail. ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИБРИДИЗАЦИИ ПОПУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Для эффективного решения задач глобальной оптимизации в 80-х годах прошлого века начали интенсивно разрабатывать класс стохастических поисковых алгоритмов оптимизации, которые в разных публикациях называют поведенческими, интеллектуальными, метаэвристическими, вдохновленными (инспирированными) природой, роевыми, многоагентными, популяционными и т. д. Используем последний термин.

Популяционные алгоритмы (*population algorithms*) предполагают одновременную обработку нескольких вариантов решения задачи оптимизации и представляют собой альтернативу классическим «траекторным» поисковым алгоритмам, в которых в области поиска эволюционирует только один кандидат на решение этой задачи. Одной из особенностей популяционных алгоритмов оптимизации является то, что в подавляющем большинстве случаев для них имеется достаточно любопытная аналогия в человеческом обществе, живой или неживой природе. Так, известны популяционные алгоритмы эволюции разума, колонии муравьев, роя медоносных пчел, светлячков, гравитационного и электромагнитного поиска и т. д.

© Карпенко А.П., 2016

Опыт решения сложных прикладных задач, сводящихся либо включающих в себя задачу глобальной оптимизации, показывает, что применение любого одного алгоритма оптимизации (как классического, так и популяционного) далеко не всегда приводит к успеху. В гибридных (комбинированных) алгоритмах, объединяющих различные либо одинаковые алгоритмы, но с разными значениями свободных параметров, преимущества одного алгоритма могут компенсировать недостатки другого. Поэтому один из основных путей повышения эффективности глобального поиска в настоящее время — это разработка гибридных популяционных алгоритмов. Иногда такие гибридные алгоритмы называют гиперэвристическими.

Рассматриваем детерминированную непрерывную задачу глобальной условной оптимизации и решение этой задачи с помощью гибридных популяционных алгоритмов. Приводим схемы ряда таких алгоритмов, а также результаты исследования их эффективности. В качестве общего названия членов популяции используем термин «агент» (*agent*). В различных популяционных алгоритмах агенты называются индивидами, особями, частицами, муравьями, пчелами и т. д. [1].

1. Методы гибридизации популяционных алгоритмов

Наиболее известны три следующие классификации способов гибридизации популяционных алгоритмов глобальной оптимизации: одноуровневая классификация Ванга (*X. Wang*) [2]; двухуровневая классификация Эль-Абда (*El-Abd*) и Камела (*M. Kamel*) [3]; трехуровневая классификация Рейдла (*G. R. Raidl*) [4]. Ограничимся рассмотрением классификации Ванга. В соответствии с этой классификацией выделяют вложенные (*embedded*) алгоритмы, препроцессор /постпроцессор (*preprocessor / postprocessor*) алгоритмы и ко-алгоритмы (*co-algorithms*).

В категории методов *гибридизации вложением* выделяем высокоуровневую и низкоуровневую гибридизации. *Высокоуровневая гибридизация вложением* (*high-level embedded hybridization*) предполагает слабую связь объединяемых алгорит-

мов. Они в данном случае сохраняют значительную автономию, так что в гибридном алгоритме относительно легко выделить каждый из используемых алгоритмов. При *низкоуровневой гибридизации вложением* (*low-level embedded hybridization*) комбинируемые алгоритмы интегрированы настолько сильно, что выделить составляющие итогового алгоритма обычно невозможно, т. е. низкоуровневая гибридизация порождает, по сути, новый алгоритм.

Среди методов *гибридизации типа препроцессор / постпроцессор* выделяем методы последовательной и конвейерной гибридизации. *Последовательная гибридизация* предполагает фиксированный порядок использования двух объединяемых алгоритмов. В *конвейерной гибридизации* применяют более двух алгоритмов, последовательность включения в работу которых может определяться в процессе решения задачи с помощью некоторого адаптационного алгоритма.

Ко-алгоритмическая гибридизация. Основная идея ко-алгоритмов глобальной оптимизации заключается в следующем. Одновременно в пространстве поиска эволюционирует несколько популяций (субпопуляций), каждая из которых использует, вообще говоря, свой алгоритм (субалгоритм) и решает исходную задачу оптимизации. Субпопуляции «борются» между собой за вычислительные ресурсы, которые по окончании заданного числа итераций перераспределяются в пользу более эффективной из субпопуляций.

2. Гибридизация на основе алгоритма роя частиц

Рассматриваем два авторских гибридных алгоритма, построенных на основе алгоритма роя частиц (*Particle Swarm Optimization*, *PSO*) [1].

1. Ко-алгоритм *CPSO.* Алгоритм является двухпопуляционным и построен на основе алгоритмов *PSO*, применяющих топологии соседства типа клика и кольцо. Основные свободные параметры алгоритма: величина ресурса n_f — максимально допустимое число испытаний (вычислений значений целевой

функции); интервал адаптации $\Delta_a \in (0;T)$, где T — максимально допустимое число итераций; величина штрафа n_p; относительный минимально допустимый размер субпопуляции η.

Широкое экспериментальное исследование эффективности алгоритма *CPSO* выполнено при варьировании значений свободных параметров алгоритма Δ_a, n_p, η. В качестве тестовых использованы функции Розенброка (*Rosenbrock*), Химмельблау (*Himmelblau*) и Растригина (*Rastrigin*), в качестве оценок эффективности — среднее (по результатам мультистарта) достигнутое значение целевой функции $\bar{f}$, а также аналогичные минимальное f^{best} и максимальное f^{worst} значения.

Результаты исследования, во-первых, показывают, что коалгоритм обеспечивает более точную локализацию глобального минимума указанных тестовых функций, чем базовый алгоритм *PSO* с топологиями соседства клика и кольцо. Во-вторых, на основе результатов исследования найдены оптимальные значения указанных свободных параметров коалгоритма, которые могут до двух раз повысить скорость его сходимости.

2. Гибридизация алгоритма роя частиц с алгоритмами эволюции разума и клональной селекции: алгоритм *MEPSI* (*Mind Evolution, Particle Swarm, Immune*). В основе алгоритма *MEPSI* лежит алгоритм *HPSI*, представляющий собой низкоуровневую гибридизацию вложением алгоритмов *PSO* и *AIS*. Строго говоря, алгоритм *MEPSI* основан на гибридизации не алгоритмов *HPSI* и *MEC*, а алгоритмов *HPSI* и *EMEC*. Гибридизация осуществлена путем замены используемой в алгоритме *HPSI* операции инициализации популяции аналогичной операцией, которую использует алгоритм *EMEC*. Такую гибридизацию можно классифицировать как высокоуровневую гибридизацию вложением.

Основными свободными параметрами алгоритма *MEPSI* являются число групп $\left|S^s\right|$, размер каждой из групп $\left|S^a\right|$, час-

тота применения операции локальных состязаний ν, частота использования клонального сжатия популяции r, время жизни проигравших групп τ.

Исследование эффективности алгоритма *MEPSI* выполнено на тестовых функциях Шекеля и Растригина. Для тех же тестовых функций изучена эффективность алгоритмов *PSO* и *HPSI*. По сравнению с алгоритмами *PSO* и *HPSI* алгоритм *MEPSI* показал себя как более точный и надежный.

3. Гибридизация на основе алгоритма колонии муравьев

В настоящее время известно большое число алгоритмов непрерывной оптимизации колонией муравьев, один из наиболее известных — алгоритм *CIAC*. Для повышения эффективности этого алгоритма предложен и разработан гибридный алгоритм *Hybrid CIAC* (*HCIAC*). Алгоритм использует следующие модификации алгоритма *CIAC*: локальный поиск на основе алгоритма Нелдера-Мида; модифицированную модель канала стигмергии [1].

В алгоритме *HCIAC-M* в качестве мемов используем алгоритм Нелдера-Мида, алгоритм ортогонального исследования области поиска, квазиньютоновский алгоритм со смешанной процедурой квадратичного и кубического поиска. Применяем так называемую жадную гиперэвристику адаптивного выбора используемого мема. Алгоритм *HCIAC-M* включает в себя еще процедуру «встряски» популяции, которая запускается с шагом t_Δ, увеличивающимся с ростом числа итераций, что обеспечивает переход от исследования пространства поиска к точной локализации найденного экстремума целевой функции.

Представляем результаты исследования эффективности указанных гибридных алгоритмов. Оно выполнено с применением пятимерных тестовых функций Розенброка и Растригина и нескольких критериев эффективности. Можно сделать вывод о том, что гибридизация дает возможность существенно повысить эффективность алгоритмов как по критерию вероятности

локализации глобального экстремума, так и по критериям средней абсолютной погрешности решения и суммарных вычислительных затрат.

В целом результаты исследования позволяют сделать вывод, что предложенная мультимемеевая гибридизация муравьиного алгоритма *HCIAC* не только повышает вероятность локализации глобального экстремума целевой функции, но и точность решения. Кроме того, за счет увеличения эффективности поиска гибридный алгоритм дает возможность уменьшить число агентов в системе и повысить тем самым его быстродействие. Мультимемеевая гибридизация приводит к алгоритму, обладающему свойствами самоадаптации, поскольку в процессе поиска мемы конкурируют между собой и победивший на данном этапе поиска мем используется на последующих этапах.

4. Гибридизация на основе алгоритма искусственной иммунной системы

Предложен и разработан оригинальный гибридный алгоритм глобальной оптимизации *SIA* (*Subplex Immune Algorithm*), основанный на технологии искусственных иммунных систем. Алгоритм представляет собой глубокую модификацию гибридного алгоритма *HIA* (*Hybrid Immune Algorithm*), который для локального поиска использует процедуру мутации. В методе *SIA* для этой цели применен алгоритм *SUBPLEX* из открытой программной библиотеки *NLopt*. Композиция алгоритмов *HIA* и *SUBPLEX* выполнена по методу высокоуровневой гибридизации вложением [1].

Выполнено исследование эффективности алгоритмов *SUBPLEX* и *SIA*, а также сравнительное исследование эффективности алгоритмов *HIA*, *SIA* и алгоритмов глобальной оптимизации *CRS*, *MLSL*, *ISRES*, представленных в программной библиотеке *NLopt*.

Изучение эффективности алгоритма *SUBPLEX* выполнено для тестовой функции Розенброка, вектор варьируемых параметров которой имеет размерность от 50 до 800. Исследование во всех случаях показало, что алгоритм обеспечивает высокую

точность локализации оптимального значения функции. Важно, что при этом наблюдается почти линейная зависимость числа испытаний от числа варьируемых параметров.

Эффективность алгоритма *SIA* изучена при поиске глобального минимума функции Растригина, размерность вектора варьируемых параметров которой равна 12, 16, 20, 24 и 28. Результаты исследования показали, что алгоритм *SIA* успешно находит точный глобальный минимум функции Растригина, векторный аргумент которой имеет размерность, не превышающую 20. При более высоких размерностях, когда число локальных минимумов становится чрезвычайно большим, алгоритм находит локальные минимумы, близкие к точке глобального минимума.

Широкое параметрическое исследование эффективности алгоритма *SIA* выполнено для функций Растригина и Шекеля, имеющих размерности вектора варьируемых параметров, равные 16, 24, 30, 36 и 42.

Сравнительное исследование эффективности алгоритмов *SIA*, *HIA*, *CRS*, *MLSL*, *ISRES* выполнено для функций Растригина и Шекеля, имеющих размерности того же вектора, равные 16, 24, 32, 40 и 50. Результаты исследования показали, что алгоритм *SIA* обеспечивает лучшие результаты для тестовой функции Шекеля. Для функции Растригина по всем используемым критерием эффективности алгоритм дает третий результат.

Заключение

Поскольку всякая практически значимая задача является многокритериальной (хотя и не всегда рассматривается как таковая), в настоящее время интенсивно развиваются популяционные алгоритмы ее решения. Для повышения эффективности этих алгоритмов также могут быть использованы и широко используются гибридные популяционные алгоритмы.

Практически значимые задачи оптимизации имеют высокую вычислительную сложность. Поэтому актуальной становится разработка параллельных вариантов популяционных алгоритмов, в том числе и гибридных популяционных алго-

ритмов, ориентированных на различные классы параллельных вычислительных систем (кластерные системы, графические процессорные устройства, системы с общей памятью, облака).

Кроме гибридизации, эффективность популяционных алгоритмов глобальной оптимизации может быть повышена за счет их метаоптимизации, т. е. за счет выбора оптимальных значений свободных параметров этих алгоритмов [1].

Список литературы

1. *Карпенко А. П.* Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2012. № 7. С. 1—32.

2. *Wang X.* Hybrid nature-inspired computation method for optimization // Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology, TKK Dissertations. 2009.

3. *El-Abd, Kamel M.* A taxonomy of cooperative search algorithms // Hybrid Metaheuristics. Second International Workshop. 2005. Vol. 3636. P. 32—41.

4. *Raidl G. R.* A Unified View on Hybrid Metaheuristics // Lecture Notes in Computer Science. 2006. Vol. 4030. P. 1—12.

А. Т. Нишанов, О. Б. Рузибоев
Ташкентский университет информационных технологий, Узбекистан
e-mail: nishanov_akram@tuit. uz

МОДИФИКАЦИЯ РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА «ШАР АПОЛЛОНИЯ» В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ

Получение разрешающих условий в задачах распознавания образов для конкретных критериев информативности, учитывающих их особенности, математические свойства и тип, играет важную роль при решении основной задачи классификации данных. В настоящей работе предлагается модификация

© Нишанов А. Т., Рузибоев О. Б., 2016

способа решения задачи классификации, изложенного в [1] и основанного на построении так называемого «шара Апполония»[2]. В отличие от [1], параметры решающего правила типа «шара Апполония» могут быть улучшены и вычислены на основе точных информаций о структуре классов обучающей выборки. Полученный результат применим к решению задачи классификации для всех критериев информативности признаков (см., в частности, [3—6].

Пусть обучающая выборка объектов разбита на два непересекающихся подмножества (классы) X, Y. Каждый объект задается набором из N признаков $\{x^1,....,x^N\}$. Пусть m_x, m_y количество объектов соответствующих классов X, Y. В пространстве признаков R^N требуется определить решающее правило для разделения классов X, Y.

Введем обозначения и сформулируем полученный результат.

Множество $S(x,y,\rho)=\left\{z\in R^n:|z-y|\le\frac{1}{\rho}|z-x|\right\}$, $x\in X$, $y\in Y$, ρ-константа, $|\cdot|$ — эвклидова длина вектора в пространстве, называется «шар Аполлония». В дальнейшем мы рассмотрим случай $\rho>1$ и в этом случае верно следующее

Утверждение. Множество $S(x,y,\rho)$ можно представить в виде шара $|z-a|\le r$, с центром в точке $a=\frac{\rho^2y-x}{\rho^2-1}$, радиусом $r=\frac{\rho|y-x|}{\rho^2-1}$, для конкретных значений векторов x, y и числового параметра ρ:

$$S(x,y,\rho)=\left\{z\in R^n:\left|z-\frac{\rho^2y-x}{\rho^2-1}\right|\le\frac{\rho|y-x|}{\rho^2-1}\right\}. \qquad (1)$$

Доказательство. По определению, для элементов z множество $S(x, y, \rho)$ имеем $|z - y| \le \frac{1}{\rho}|z - x|$, что эквивалентно следующему

$$\rho|z - y| \le |z - x|. \tag{2}$$

Обозначим через $\bar{z} = z - y$, $\bar{x} = x - y$. Тогда (2) имеет следующий вид:

$$\rho|\bar{z}| \le |\bar{z} - \bar{x}|.$$

Возведя в квадрат последнее неравенство, получим $\rho^2|\bar{z}|^2 \le |\bar{z} - \bar{x}|^2$ или же, используя определение длины вектора, имеем

$$\rho^2(\bar{z}, \bar{z}) \le (\bar{z} - \bar{x}, \bar{z} - \bar{x}),$$

$$\rho^2(\bar{z}, \bar{z}) - (\bar{z}, \bar{z}) + 2(\bar{z}, \bar{x}) - (\bar{x}, \bar{x}) \le 0,$$

$$(\rho^2 - 1)(\bar{z}, \bar{z}) + 2(\bar{z}, \bar{x}) - (\bar{x}, \bar{x}) \le 0.$$

Далее, последнее неравенство почленно делим на $\rho^2 - 1$. Так как $\rho > 1$, знак неравенства не меняется.

$$\left[(\bar{z}, \bar{z}) + 2(\bar{z}, \frac{\bar{x}}{\rho^2 - 1}) + \frac{(\bar{x}, \bar{x})}{(\rho^2 - 1)^2}\right] - \frac{(\bar{x}, \bar{x})}{(\rho^2 - 1)^2} - \frac{(\bar{x}, \bar{x})}{(\rho^2 - 1)} \le 0.$$

Сумму в квадратных скобках перепишем в виде скалярного произведения и получим:

$$(\bar{z} + \frac{\bar{x}}{\rho^2 - 1}, \bar{z} + \frac{\bar{x}}{\rho^2 - 1}) - \frac{(\bar{x}, \bar{x})}{(\rho^2 - 1)^2} - \frac{(\bar{x}, \bar{x})}{(\rho^2 - 1)} \le 0.$$

Оно эквивалентно следующему неравенству:

$$\left|\bar{z}+\frac{\bar{x}}{\rho^2-1}\right|^2-\left|\bar{x}\right|^2\left(\frac{1}{(\rho^2-1)^2}+\frac{1}{(\rho^2-1)}\right)\le 0\Rightarrow$$

$$\left|\bar{z}+\frac{\bar{x}}{\rho^2-1}\right|^2\le\left|\bar{x}\right|^2\left(\frac{\rho^2}{(\rho^2-1)^2}\right).$$

Извлекая корень квадратный из последнего неравенства, имеем

$$\left|\bar{z}+\frac{\bar{x}}{\rho^2-1}\right|\le\left|\bar{x}\right|\frac{\rho}{\rho^2-1}.$$

Учитывая, что $\bar{z}=z-y$, $\bar{x}=x-y$, получим

$$\left|z-y+\frac{x-y}{\rho^2-1}\right|\le\left|x-y\right|\frac{\rho}{\rho^2-1},$$

Оно эквивалентно следующему неравенству:

$$\left|z-\frac{\rho^2y-x}{\rho^2-1}\right|\le\frac{\rho\left|x-y\right|}{\rho^2-1}. \qquad (3)$$

Утверждение доказано.

Укажем выбор параметров «шара Апполония». Из (3) видно, что «шар Апполония» зависит от трех параметров: $x\in X$, $y\in Y$, $\rho>1$. В отличие от [1] укажем другой способ выбора параметра $\rho,\rho>1$. Из (3) следует, что при $\rho>1$ радиус шара $r=\frac{\rho\left|y-x\right|}{\rho^2-1}$ является непрерывной, убывающей функцией по ρ и принимает значения из интервала (0, ∞). Поэтому выбираем такое значение параметра $\rho,\rho>1$, при котором шар, определенный согласно (3), был бы достаточно близко к мно-

жеству Y. Тогда элементы «шара Апполония», определяемого по (3), будут достаточно близкими к элементам множества Y. Основным критерием определения значения $\rho, \rho > 1$ является вышеуказанное предложение относительно множества (класса) Y и «шара Апполония» (3). Кроме того, в настоящей работе векторы $x \in X$, $y \in Y$, с помощью которых определяется «шар Апполония» (3), рассматриваются как параметры, которые для некоторых классов множеств могут быт выбраны так, чтобы увеличилась достоверность распознавания объектов (ср. с [1]).

При этом важную роль играют плотности множеств X, Y. Векторы $x \in X$, $y \in Y$, участвующие в определении «шара Апполония», могут выбираться как усредненный объект множеств X, Y или усредненный объект плотной части множеств X, Y соответственно (ср. с [1]). Это обстоятельство играет важную роль при определении «шара Апполония» для множеств, у которых несколько элементов отделены от плотной части. В этом случае решающее правило типа «шар Апполония» определяет распознаваемые объекты с некоторой малой ошибкой, но достоверность принадлежности объекта к данному множеству увеличивается.

Используем полученный «шар Апполония» для построения решающего правила. Для этого предположим, что число $\rho_Y, \rho_Y > 1$ ($\rho_X, \rho_X > 1$) выбрано согласно вышеуказанному способу и соответствует классу Y (X), $y = \frac{1}{m_Y} \sum_{i=1}^{m_Y} y_i$ — усредненный объект класса Y или усредненный объект плотной части класса Y; $x = \frac{1}{m_X} \sum_{i=1}^{m_X} x_i$ — усредненный объект класса X или усредненный объект плотной части класса X; w — распознаваемый объект в признаковом пространстве.

Пусть w некоторый объект из R^N. Тогда если выполнено неравенство:

$$\left| w - \frac{\rho_Y^2 y - x}{\rho_Y^2 - 1} \right| \le \frac{\rho_Y |x - y|}{\rho_Y^2 - 1}, \tag{4}$$

то говорим, что $w \in S(x, y, \rho_Y)$ и w является объектом класса Y. Если неравенство (4) не соблюдается, но выполнено

$$\left| w - \frac{\rho_X^2 x - y}{\rho_X^2 - 1} \right| \le \frac{\rho_X |y - x|}{\rho_X^2 - 1}, \tag{5}$$

то говорим, что $w \in S(y, x, \rho_X)$ и w является объектом класса X. Если же для объекта w не выполнены неравенства (4), (5) тогда объект w считается не распознанным. Отметим, что построение решающего правила «шар Апполония» для каждого из классов X, Y отдельно играет важную роль при решении прикладных задач распознавания и имеет очень доступный алгоритм.

Список литературы

1. *Нишанов А.Х.* Построение решающих правил в пространстве информативных признаков классифицируемых объектов // Проблемы информатики и энергетики. 1992. №3—4. С. 17—28.

2. *Петросян Л., Томский Г.* Геометрия простого преследования. Новосибирск : Наука, 1983.

3. *Журавлев Ю.И.* Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Вып. 33. С. 5—68.

4. *Горелик А.Л.* Общая постановка задачи распознавания объектов и явлений // Кибернетика. 1980. №6. С. 72—75.

5. *Камилов М.М., Нишанов А.Х.* Итерационный метод формирования информативных наборов признаков в задаче распознавания образов // Проблемы информатики и энергетики. 1992. №5—6. С. 3—7.

6. *Нишанов А.Х., Чернова О.Ю.* Построение решающих правил в подпространстве информативных признаков // Тезисы докладов. Ташкент. 8—9 сентября, 1994. С. 23—24.

А. В. Павлов
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: Pavlov@phoi. ifmo. ru

НАЧАЛЬНОЕ ПОРОЖДЕНИЕ ПОНЯТИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОБРАЗОВ НА АЛГЕБРЕ ФУРЬЕ-ДУАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Введение

Понятийное мышление рассматривается как более высокая форма, возникающая на основе образного [1—3]. Согласно классификации «образ — понятие», предложенной в [1], образ и понятие суть крайние случаи внутренних представлений информации: образ в абстрактном пространстве признаков представлен унимодальным распределением с хорошо локализованным максимумом, а понятие — плато или пологим холмом, охватывающим широкий диапазон значений только тех признаков, что существенны для понятия. Образ имеет преимущественно сенсорное происхождение, а понятие — результат обработки набора образов.

Переход от образного к понятийному мышлению предполагает два условных, но обязательных этапа:

1) порождение гипотезы понятия;

2) установление связи нового понятия с наличествующими.

Один из методов порождения абстрактных понятий при обработке конкретных образов — индуктивное обобщение.

В статье [4] предложен метод индуктивного порождения понятий в рамках бионического подхода, подразумевающего представление и обработку информации паттернами внутренней репрезентации (ПВР) на нейронных сетях (НС), реализующих алгебру фурье-дуальных операций. Этот метод допускает наличие априорного критерия отнесения признаков к частным или общим — их разнесение по шкале общности.

В работе [5] дана модель перехода к понятийному мышлению, включающая оба этапа и свободная от ограничения ме-

© Павлов А. В., 2016

тода [4] — единственным критерием отнесения признака к частным или общим служит частота его появления в наборе образов. Вместе с тем модель [5] предполагает наличие понятий, уже существующих к моменту порождения нового. Таким образом, строго говоря, это модель не формирования «с нуля», а уже развития понятийного мышления. Представляет интерес модель именно порождения понятийного мышления при обработке образов, т. е. при отсутствии наличествующих понятий.

В докладе дано решение этой задачи развитием модели [5].

1. Подход и модель

Рассмотрим задачу индуктивного порождения понятий на примере обращения классического силлогизма «Darii» (рис. 1):

Частное высказывание (результат): *Сократ — смертен*;
Частное высказывание (случай): *Сократ — человек*;
Общий вывод (правило): *Все люди смертны*.

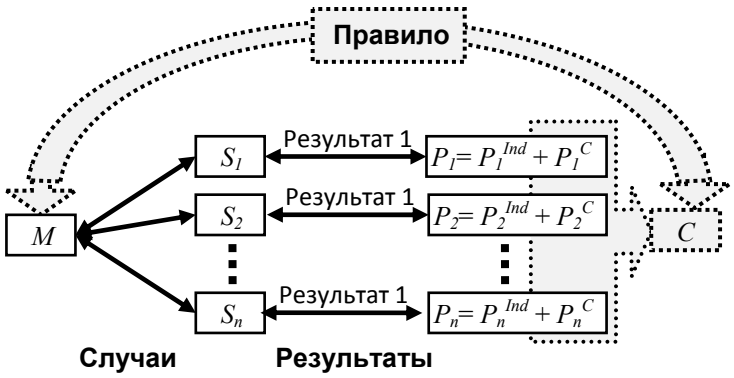


Рис. 1. Индуктивное формирование понятий при обработке образов: M — наличествующее понятие (*человек вообще*); S_i — индексные образы (*Сократ, Платон, etc.*), связанные случаями с понятием M; P_i — индуцируемые образы (*Сократ смертен, Платон смертен etc.*), связанные результатами с образами S_i и имеющие индивидуальные P_i^{Ind} и общие P_i^C признаки; C — индуктивно формируемое понятие

В работе [5] задача решена на трехслойной НС (рис. 2), реализующей алгебру фурье-дуальных операций. И образы, и понятия представлены паттернами. Веса связей:

$$H_i^{Result}\left(\nu_x\right)=F\left(P_i\left(x\right)\right)F^*\left(S_i\left(x\right)\right)\exp\left(-j2\pi\nu_x\left(x_{Pi}-x_{Si}\right)\right), \quad (1)$$

$$H_i^{Case}\left(\nu_x\right)=F\left(M\left(x\right)\right)F^*\left(S_i\left(x\right)\right)\exp\left(-j2\pi\nu_x\left(x_{Mi}-x_{Si}\right)\right), \quad (2)$$

где F — символ преобразования Фурье, задающего дуальность определяющих операций $F\left(A(x)\oplus B(x)\right)=F\left(A(x)\right)\cdot F\left(B(x)\right)$; астериск — символ комплексного сопряжения; j — мнимая единица; ν — частота, координаты с нижними индексами описывают положение паттернов в слоях при обучении сети.

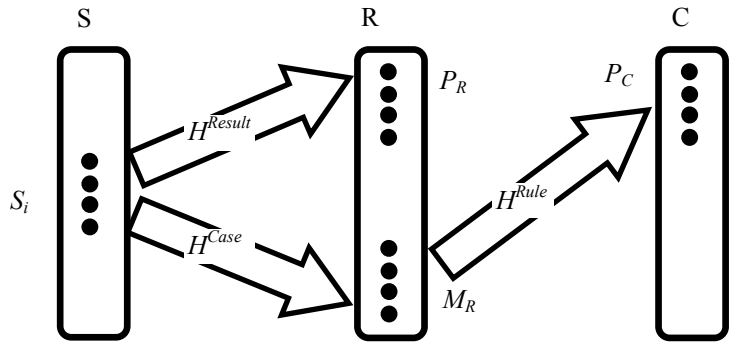


Рис. 2. Трехслойная НС: слои репрезентации паттернов:
S — индексных образов S_i, R — индуцируемых образов P_i и понятия M;
C — нового понятия; стрелки — связи слоев

Веса обученной на n примерах сети:

$$H\left(\nu_x\right)=\sum_{i=1}^{n}\left(H_i^{Case}\left(\nu_x\right)+H_i^{Result}\left(\nu_x\right)\right). \quad (3)$$

При предъявлении обученной согласно (1), (2) и (3) сети в слое S паттерна $S_{i,}$ в слое R формируются паттерны

$$M_R(x)+P_R(x)=F\left[F\left(S_i(x)\right)\cdot H\left(\nu_x\right)\right]=$$
$$=M\left(x+x_M\right)*\left(S_i(x)\otimes S_i(x)\right)+\sum_{i\neq j}M\left(x+x_M\right)*\left(S_i(x)\otimes S_j(x)\right)+ \quad (4)$$
$$+P_i\left(x+x_P\right)*\left(S_i(x)\otimes S_i(x)\right)+\sum_{i\neq j}P_j\left(x+x_P\right)*\left(S_i(x)\otimes S_j(x)\right),$$

где * и $\otimes$ — символы операции свертки и корреляции.

Если индексные образы последовательности $\left\{S_i\right\}_{i=1}^{n}$ частично коррелированы, т. е. могут быть представлены в виде

$$\begin{cases} S_i(x)=S_i^C(x)+S_i^U(x) \\ S_i^C(x)=m\cdot S_i(x) \\ S_i^U(x)=(1-m)\cdot S_i(x) \end{cases}, \quad (5)$$

где коэффициент $m\in[0,1]$ описывает удельный вес коррелированного фрагмента в паттерне — как по площади, так и амплитуде, т. е. коэффициент взаимной корреляции индексных паттернов $\rho_{ij}^{S}=m^2$, то паттерн P_R, описываемый третьим и четвертым слагаемыми в (4), принимает вид

$$P_R(x)=P_R^C(x)+P_R^N(x)=$$
$$=\left[1+\rho_{ij}^{S}(n-1)\right]\cdot\left\{P_i^C\left(x+x_P\right)*\left(S_i(x)\otimes S_i(x)\right)\right\}+$$
$$+P_i^{Ind}\left(x+x_P\right)*\left(S_i(x)\otimes S_i(x)\right)+ \quad (6)$$
$$+m^2\sum_{i\neq j}P_j^{Ind}\left(x+x_P\right)*\left(S_i(x)\otimes S_i(x)\right)+$$
$$+\sum_{i\neq j}P_j\left(x+x_P\right)*\left(S_i^U(x)\otimes S_j^U(x)\right).$$

Все слагаемые в (6) пространственно налагаются друг на друга. Первое описывает требуемый для решения задачи субпаттерн общих признаков $P_R^C(x)$. Второй, третий и четвертый в сумме дают помеху $P_R^N(x)$. Сравним зависимости от n оценок общей модулированности $P_R^C(x)$ и $P_R^N(x)$ — их дисперсии.

Дисперсия $P_R^C(x)$, т. е. первого слагаемого:

$$D_R^C = \left(1+\rho_{ij}^S(n-1)\right)^2 D_{iR}^C, \tag{7}$$

где D_{iR}^C — дисперсия члена в фигурных скобках, т. е. *i*-го субпаттерна в слое R с учетом ее изменения относительно дисперсии эталонного субпаттерна P_i^C в результате свертки с импульсным откликом схемы $S_i(x) \otimes S_i(x)$. При $\rho_{ij}^S = 1$ D_R^C зависит от числа примеров *n* квадратично.

При $\rho_{ij}^S = 1$ дисперсия помехи принимает вид

$$\begin{aligned} D_R^N &= D\left(\begin{array}{l} P_i^{Ind}(x+x_P) * \left(S_i(x) \otimes S_i(x)\right) + \\ \sum_{i \neq j} P_i^{Ind}(x+x_P) * \left(S_j(x) \otimes S_j(x)\right) \end{array}\right) = \\ &= nD_{iR}^{Ind} + n(n-1)D_{ijR}^{Ind}, \end{aligned} \tag{8}$$

где $D\left(P_i^{Ind}(x+x_P) * \left(S_i(x) \otimes S_i(x)\right)\right) = D_{iR}^{Ind}$; D_{ijR}^{Ind} — ковариация *i*-го и *j*-го субпаттернов частных признаков. Используем корреляционную оценку информационной емкости паттернов [6]

$$\Omega^{Ind} = L_x^{Ind} L_y^{Ind} \Big/ \pi r_R^2, \tag{9}$$

где r_R — радиус корреляции. Тогда, как показано в [6]:

$$\rho_{ij}^{Ind} \approx \sqrt{\frac{2\kappa}{\Omega^{Ind}}},$$

где κ — коэффициент, зависящий от функции корреляции. Отсюда получим зависимость отношения дисперсий от *n*:

$$V(n) = \frac{D_R^C}{D_R^N} \approx \frac{\left(1+\rho_{ij}^S(n-1)\right)^2}{n\left(1+(n-1)\sqrt{\frac{2\kappa}{\Omega^{Ind}}}\right)}. \tag{10}$$

Отсюда следует, что условие решения первого этапа задачи — формирования индуктивной гипотезы — частичная коррелированность индексных образов в обучающей выборке. Это означает наличие во всех паттернах $\{S_i\}_{i=1}^{n}$ общих субпаттернов. В рамках примера для всех индексных образов общее то, что все они — люди. Таким образом, понятие «человека вообще» *M*, выделенное в обращенном силлогизме (рис. 1) в отдельный термин и, соответственно, отдельный паттерн, по логике модели должно быть субпаттерном всех индексных паттернов.

2. Порождение первоначальных понятий

Следовательно, схемы индуктивного вывода (рис. 1) и НС рис.2 могут быть существенно упрощены (рис. 3) — из рисунка 1 должны быть исключены отдельное наличествующее понятие *M* и случаи (2). Задача соответственно преобразуется в задачу порождения двух индуктивных гипотез: в дополнение к «старой» — формирования P^C, возникает задача формирования также ранее не известного, скрытого в *S,* субпаттерна $S^C = M$.

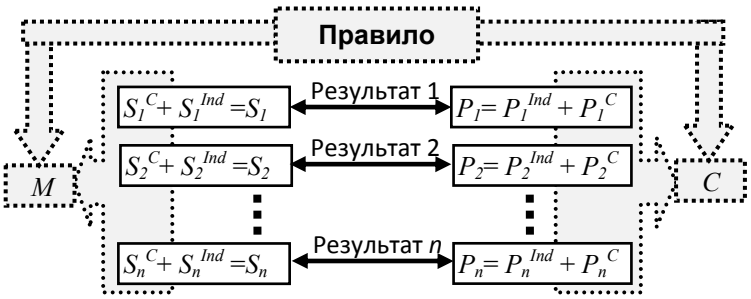


Рис. 3. Индуктивное порождение первоначальных понятий:
S_i, P_i — образы; *M* и *C* — индуктивно формируемые понятия

Задача решается двухслойной НС со связями (1) аналогично тому, как она решена выше для P^C с тем, что поскольку все образы теперь индуцируемые, разделение на индексные и индуцируемые теряет смысл, то и веса связей «симметричны»:

$$H_i(\nu_x) = F(P_i(x))F^*(S_i(x))\exp(-j2\pi\nu_x(x_{Pi} - x_{Si})) + \\ +F(S_i(x))F^*(P_i(x))\exp(-j2\pi\nu_x(x_{Si} - x_{Pi})). \quad (11)$$

3. Моделирование

Для выполнения требования на отсутствие априорных критериев определения общих или частных признаков паттерны $\{S_i\}_{i=1}^n$ и $\{P_i\}_{i=1}^n$ моделировались реализациями стационарного случайного процесса с экспоненциальным спектром амплитуд и случайным спектром фаз с нулевым математическим ожиданием и дисперсией 2π, различными радиусами корреляции; длины всех реализаций составляли 1024 отсчета. Размеры субпаттернов P^C и P^{Ind} были равны и составляли 512 отсчетов. Удельный вес m субпаттерна S^C (прототипа гипотезы M) в (5) и коэффициента корреляции ρ^S паттернов S менялся от 0 до 1. Импульсный отклик приводился к дельта функции разбеливанием спектров.

На рисунке 4 приводятся экспериментальные зависимости отношения дисперсий (10) от числа примеров n для ряда значений ρ^S, а также их линейные аппроксимации для одной реализации. Зависимость оценки (10) от числа примеров n практически линейна, т. е. соответствует теоретическим выводам.

На рисунке 5 для 20 реализаций даны зависимости математического ожидания (рис. 5, *а*) тангенса угла наклона аппроксимирующих прямых (рис. 4) от коэффициента корреляции ρ^S для ряда оценок информационной емкости паттернов Ω, а на рисунке 5, *б* — их среднеквадратические отклонения. Тангенс угла наклона (10) дает оценку чувствительности к коэффициенту корреляции ρ^S.

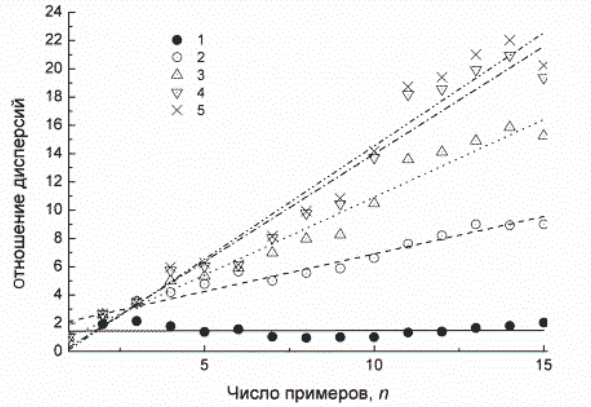
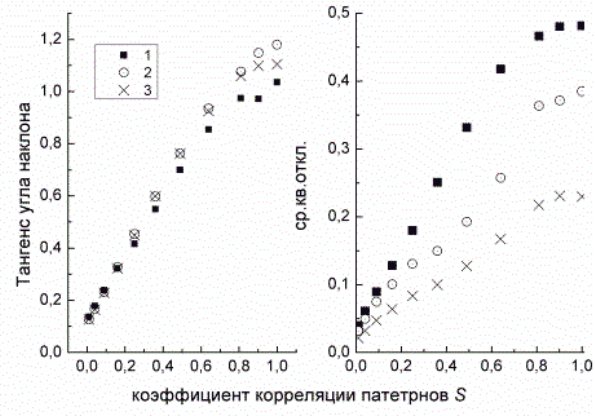


Рис. 4. Зависимости отношения дисперсий (10) от числа примеров для коэффициентов корреляции ρ^S:
1 — 0,01; 2 — 0,25; 3 — 0,49; 4 — 0,81; 5 — 1;
оценки информационной емкости $\Omega^C = \Omega^U = 22$



а *б*

Рис. 5. Зависимости математического ожидания (*а*) и их среднеквадратические отклонения (*б*) тангенсов угла наклона линейной аппроксимации (рис. 4) от ρ^S, усредненное по 20 реализациям:
1 — $\Omega^C = \Omega^U = 22$; 2 — $\Omega^C = \Omega^U = 46$; 3 — $\Omega^C = \Omega^U = 93$

Из рисунков 4 и 5 видно, что модель индуктивного порождения первоначальных понятий работает даже при крайне слабой коррелированности образов, эффективность модели почти не зависит от информативности обрабатываемых образов.

Заключение

Таким образом, дана и экспериментально подтверждена модель первоначального, т. е. при отсутствии ранее существовавших, индуктивного порождения понятий при обработке набора пар образов на алгебре фурье-дуальных операций. Модель реализуется двухслойной нейронной сетью и свободна от априорных критериев отнесения признаков к частным или общим, кроме частоты их появления в обучающем наборе.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность проф. И.Б. Фоминых и проф. О.П. Кузнецову за обсуждения, способствовавшие формированию развиваемого подхода.

Работа поддержана РФФИ, грант 15-01-04111-а.

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. *Кузнецов О.П.* Быстрые процессы мозга и обработка образов // Там же. 1998. №2.

3. *Фоминых И.Б.* Интеграция логических и образных методов отражения информации в системах искусственного интеллекта // Там же. №3. С. 76—85.

4. *Павлов А.В.* Реализация правдоподобных выводов на нейросетях со связями по схеме голографии Фурье // Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. №1. С. 3—14.

5. *Павлов А.В.* Индуктивное формирование понятий на алгебре фурье-дуальных операций // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» : сб. науч. тр. М. : Физматлит, 2015. Т. 1. С. 97—108.

6. *Шубников Е.И.* Отношение сигнал/помеха при корреляционном сравнении изображений // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62, № 2. С. 450—456.

В.Б. Трофимов
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
e-mail: trofimov_vbt@mail. ru

О МЕТОДЕ ОЦЕНИВАНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Распознавание (опознавание, узнавание) представляет собой классификацию на множестве признаков, оцениваемых по наблюдаемому изображению. Процесс отбора информативных признаков до сих пор остался процедурой эвристической, зависящей как от предметной области, так и от предпочтений разработчика. При таком подходе распознавание образов включает две задачи [1]:

1) отбор и упорядочивание информативных признаков (например, геометрических, топологических, вероятностных, спектральных);

2) собственно классификация (принятие решения о принадлежности изображения к тому или иному классу на основе анализа значений признаков).

Классификация базируется на некотором множестве «отобранных замеров», производимых на входных образах. Эти «отобранные замеры», называемые признаками, предполагаются инвариантными по отношению к обычно встречающимся искажениям и обладающими малой избыточностью.

В автоматизированных системах распознавания образов *измерительная подсистема* воспринимает воздействие объекта распознавания и преобразует его в сигналы (первичные данные), удобные для компьютерной обработки; *выделитель признаков* (называемый также рецептором, фильтром свойств, детектором признаков), ориентированный на уменьшение объема обрабатываемых данных, выделяет из первичных данных полезные сведения; *классификатор* на основе этих сведений относит объект к одной из нескольких категорий.

© Трофимов В.Б.. 2016

Предлагаемый метод оценивания информативных признаков состоит из следующих операций.

1. Сканирование поверхности объекта распознавания, например с помощью видеокамеры и специальной подсветки.

2. Разбиение каждого видеосигнала на последовательность непересекающихся видеокадров (цифровых изображений).

3. Представление i-го цифрового изображения в цветовой модели RGB, т. е. получение 24-разрядного рисунка.

4. Преобразование полученного цветного изображения в изображение с нулевым контрастом (изображение в градации серого) выполняется по формуле, которая отражает цветовое восприятие человека:

$$S_{n,m}(i) = \mathrm{Round}[0{,}30\, R_{n,m}(i) + 0{,}59\, G_{n,m}(i) + 0{,}11\, B_{n,m}(i)],$$

где $R_{n,m}(i)$, $G_{n,m}(i)$, $B_{n,m}(i)$ — красный, зеленый, синий компоненты цветовой модели RGB; n — номер строки; m — номер столбца изображения; i — номер изображения (видеонаблюдения).

5. Минимаксное нормирование (индекс «Н») изображения осуществляется по формуле

$$S^{H}_{n,m}(i) = \frac{S_{n,m}(i) - S^{min}}{S^{max} - S^{min}},$$

где $S^{max} = 255$, $S^{min} = 0$ — максимальное и минимальное значения $S_{n,m}(i)$.

6. Адаптивная бинаризация (индекс «Б») изображения («1» — черный цвет пикселя, «0» — белый цвет пикселя) выполняется по правилу:

$$S^{Б}_{n,m}(i) = \begin{cases} 1, \text{если } S^{H}_{n,m}(i) \le \delta(i); \\ 0, \text{если } S^{H}_{n,m}(i) > \delta(i), \end{cases}$$

где $\delta(i)$ — пороговый уровень, зависящий от яркости i-го изображения.

7. Элиминирование факторов, искажающих изображение, осуществляется следующим образом: если в заданной окрестности пикселя, у которого $S^{Б}_{n,m}(i)=1$, все другие пиксели имеют значение, равное нулю, то $S^{Б}_{n,m}(i)$ этого пикселя принимается равным нулю. Размер окрестности очистки устанавливает квадрат с центром в пикселе, у которого цвет черный («черный пиксель»). Размер, равный единице, соответствует квадрату 3×3 пикселей с центром в «черном пикселе», размер, равный двум, — квадрату 5×5 и т. д. Если «черный пиксель» расположен близко к краю изображения, то часть окрестности, не имеющая пикселей, отсекается.

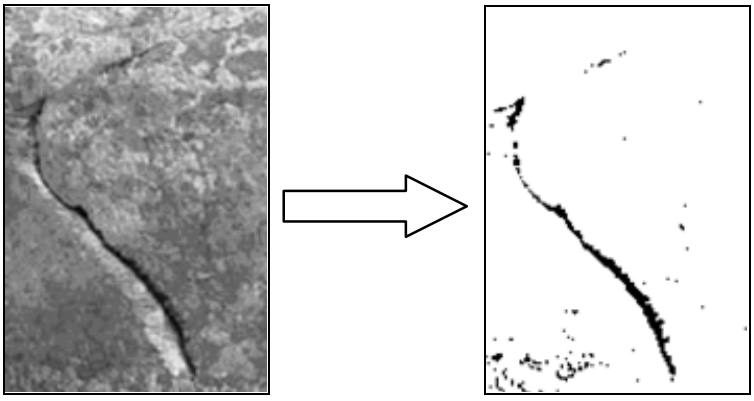
8. Оценивание информативного признака путем суммирования бинарных кодов цвета пикселей в соответствии с выражениями:

по строкам: $X_1(i)=\sum_{m=1}^{M}S^{Б}_{1,m}(i)$, …, $X_N(i)=\sum_{m=1}^{M}S^{Б}_{N,m}(i)$,

по столбцам: $Y_1(i)=\sum_{n=1}^{N}S^{Б}_{n,1}(i)$, …, $Y_M(i)=\sum_{n=1}^{N}S^{Б}_{n,M}(i)$.

Для проведения численных исследований метода оценивания были использованы цифровые изображения дефектов рельсов (например, «плены», рис. 1), разработан программный продукт в среде Delphi (рис. 2), выполнено оценивание информативных признаков дефектов рельсов (рис. 3). Для классификации дефектов рельсов использовали искусственную нейронную сеть — многослойный персептрон, который на основе этих признаков их идентифицировал.

Метод оценивания информативных признаков позволяет выделить информативный признак сложного образа (цифрового изображения) и может быть применен в промышленных автоматизированных системах [2].



а *б*

Рис. 1. Цифровое изображение дефекта железнодорожного рельса:
а — исходное изображение поверхностного дефекта (плены);
б — бинаризованное изображение

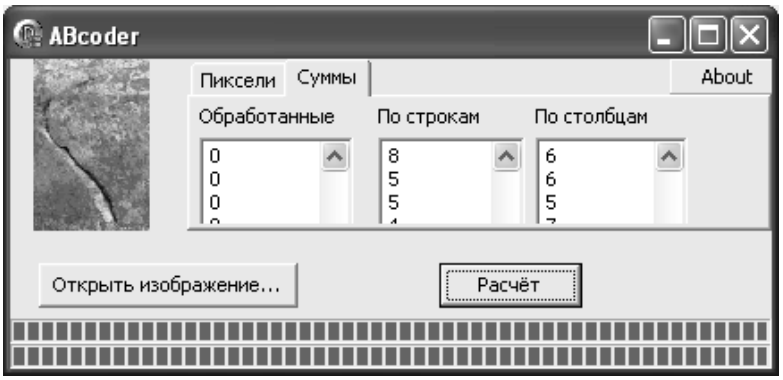


Рис. 2. Экранная форма программы оценивания
информативных признаков

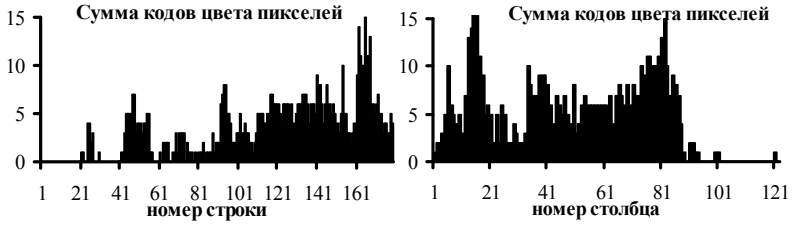


Рис. 3. Информативный признак дефекта,
представленного на рисунке 1

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-4068.2015.8.

Список литературы

1. *Методы* компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. М. : Физматлит, 2003.

2. *Трофимов В.Б., Кулаков С.М.* Обобщенная структура интеллектуальной системы управления технологическим объектом и опыт ее применения // Автометрия. 2011. Т. 47, №3. С. 132—140.

О.А. Тягунов, М.А. Теплов
Московский технологический университет (МИРЭА), Россия
e-mail: tyagunov@mirea. ru

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Задаче построения основных законов управления исполнительным уровнем малых и средних автономных мобильных роботов (МР) посвящено достаточно много работ, из которых можно отметить [1—3]. Однако полученные результаты прак-

© Тягунов О. А., Теплов М. А., 2016

тически неприменимы при построении законов управления исполнительным уровнем тяжелых автономных МР. В значительной мере это связано с тем, что для процесса движения этого класса МР характерно наличие факторов неопределенности (неточное знание моделей динамики МР, сложный характер взаимодействия движителя МР и поверхности перемещения и т. д.).

Следует заметить, что система исполнительного уровня МР на автономном участке движения должна обеспечивать автоматическое выполнение базового набора команд (трогание, разгон, торможение, остановку, удержание (стабилизацию) заданных значений скорости, курса и, возможно, радиуса поворота), отработку заданных траекторий движения (последовательностей из базового набора команд). Базовые команды — это фактически «кирпичики», из которых формируется заданная программа формирования траектории движения. При реализации автономного режима каждой базовой команде соответствует свой вариант совокупности согласованных действий (управляющих воздействий) на органы управления, зависящий как от текущего состояния МР, так и от типа и состояния грунта, по которому происходит перемещение МР. Подавляющее число базовых команд практически реализуются как согласованные во времени программные воздействия на управляющие органы МР.

При разработке законов управления основными программными режимами движения МР в условиях значительного влияния факторов неопределенности воспользуемся методом ситуационного управления [4] (*при этом отпадает необходимость в применении математических моделей управляемого движения МР*) и экспертные данные о *допустимых законах программного управления МР*, базирующихся на широко используемых на практике методиках обучения механиков-водителей тяжелых транспортных средств.

Мы выделяем *два этапа* решения этой задачи.

1. Этап формирования вербальной версии законов программного управления для базовых команд в различных ситуациях.

Известно, что после знакомства с особенностями построения аппаратных средств тяжелых гусеничных машин (ТГМ), принципов работы основных исполнительных органов обучаемый (механик-водитель) приступает к изучению основных правил управления исполнительными органами с последующим приобретением практических навыков работы на соответствующих тренажерах и на самой ТГМ. Основные правила управления исполнительными органами ТГМ, как известно, состоят в реализации согласованных между собой временных диаграмм изменения положения исполнительных органов для каждого режима движения в различных условиях (тип и состояние грунта, начальное положение (покой или движение), профиль движения и т. д.). Правила управления движением рассматриваются в наставлениях и учебных пособиях [5]. Рассмотрим в соответствии с [5] правила управления для реализации режима трогания (начала движения) ТГМ в разных условиях. Например, если трогание ТГМ происходит на *горизонтальном* участке, то правилами предусмотрено: «Для трогания ТГМ с места на ровном участке нужно отпустить педаль тормоза, выжать педаль главного фрикциона, выждать 2—3 с и включить выбранную передачу и далее отпустить педаль главного фрикциона, одновременно по мере нарастания нагрузки увеличивая подачу топлива». В частности, в случае «тяжелого» грунта выбирается замедленная передача, а в случае более «легких» — более скоростные передачи.

Если же движение ТГМ начинается на *подъеме*, то модифицированная версия правила следующая: «Для трогания с места ТГМ на подъеме нужно, нажав на педаль тормоза, снять ее с защелки, но не отпускать, затем выжать педаль главного фрикциона, включить низшую передачу, отпустить педаль тормоза и, отпустив педаль главного фрикциона, включить его и, одновременно увеличивая подачу топлива, дождаться начала движения ТГМ, не допуская скатывания ее назад».

Для трогания ТГМ на *спуске* справедлива следующая версия правила: «Для трогания ТГМ с места на спуске нужно, нажав на педаль тормоза, снять ее с защелки, но не отпускать, затем выжать педаль главного фрикциона, включить передачу, и, отпустив педаль главного фрикциона, включить его, одновременно растормаживая ТГМ, т. е. отпуская педаль тормоза. При этом движение педали главного фрикциона должно несколько опережать движение педали тормоза».

Представленные вербальные версии правил согласованного управления исполнительными органами МРТК для режима трогания МРТК соответствуют вариантам ситуации, характеризующей профиль движения, — «горизонтальное движение», «подъем» и «спуск» без учета других факторов неопределенности. Для других вариантов ситуаций (*типы грунтов* (твердые, связные, сыпучие), *климатические условия* (сухой или влажный грунт) описанные выше правила управления исполнительными органами в соответствии с опытом водителей-механиков и наставлениям могут быть модифицированы соответствующим образом.

Заметим, что и для всех остальных программных режимов движения (переключение коробки передачи, поворот на заданный угол и т. д.) могут (и должны) быть составлены вербальные версии правил согласованного управления исполнительными органами МРТК, которые, по сути, являются совокупностью экспертных знаний и могут быть использованы при построении системы управления исполнительным уровнем МРТК.

2. Этап формирования по данным пункта 1 графических версий совокупности временных диаграмм изменения состояния управляющих органов МРТК с последующим построением математических моделей.

Представленные в п. 1. экспертные знания записаны в вербальной (описательной) форме и поэтому возникает необходимость в построении формализованных версий представленных правил управления движением МРТК.

Общие вопросы построения формализованных моделей управления в интеллектуальных системах рассматривались в различных публикациях [6, 7 и др.]. При построении формализованных моделей управления движением МРТК для нас будет удобно пойти по пути формирования совокупностей кусочно-гладких функций (временных диаграмм) изменения состояния каждого из управляющих органов МРТК, согласованных между собой по времени. *Это позволит в дальнейшем для каждой складывающейся ситуации построить оптимальную (квазиоптимальную) совокупность согласованных во времени диаграмм изменения положения управляющих органов.*

На рисунках 1—3 приведены варианты временных диаграмм исполнительных органов МРТК для режима трогания для трех вариантов профиля движения («горизонтальное движение», «подъем» и «спуск»), составленные в соответствии с описанными выше «экспертными знаниями».

В частности, «для горизонтального (ровное место) профиля» (рис. 1) последовательно происходит снятие с тормоза (кривая *2*, момент времени t_0) и выжимание (выключение) главного фрикциона (кривая *1*, момент времени t_1) с последующим включением номера передачи (кривая *4*, момент времени t_2), а затем практически одновременно происходит отпускание (включение) главного фрикциона (момент времени t_3) и увеличение подачи топлива («газа», кривая *3*, момент времени t_4).

Для случая трогания на «подъеме» (рис. 2) характерно выжимание (выключение) главного фрикциона (кривая *1*, момент времени t_0) с последующим включением пониженного номера передачи (кривая *4*, момент времени t_1), а снятие с тормоза (кривая *2*, момент времени t_4) наступает лишь после отпускания (включения) главного фрикциона (момент времени t_2) и увеличения подачи топлива («газа», кривая *3*, момент времени t_3), что обеспечивает предотвращение скатывания МРТК.

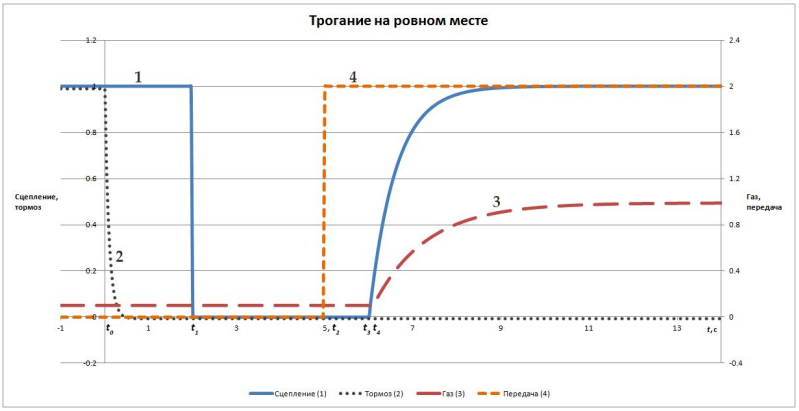


Рис. 1. Программные законы изменения исполнительных органов МРТК при трогании на ровной поверхности:
1 — сцепление; *2* — газ; *3* — номер передачи;
4 — тормоз; *5* — обороты двигателя

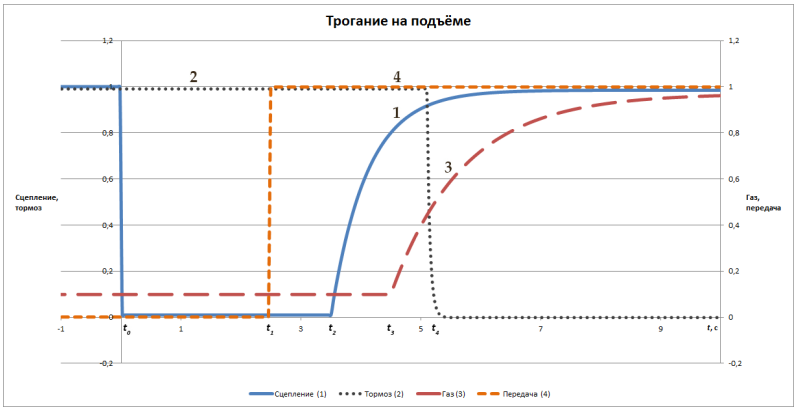


Рис. 2. Программные законы изменения исполнительных органов МРТК при трогании на подъеме:
1 — сцепление; *2* — тормоз; *3* — газ; *4* — номер передачи

При трогании на «спуске» (рис. 3) происходит выжимание (выключение) главного фрикциона (кривая *1*, момент времени t_0), далее выбирается номер передачи (кривая *4*, момент времени t_1), с последующим растормаживанием (кривая *2*, момент времени t_2), при этом может подаваться ограниченное количество топлива («газа», кривая *3*, момент времени t_3). Для случая крутого «спуска» для предотвращения скатывания МРТК могут включаться режимы подтормаживания.

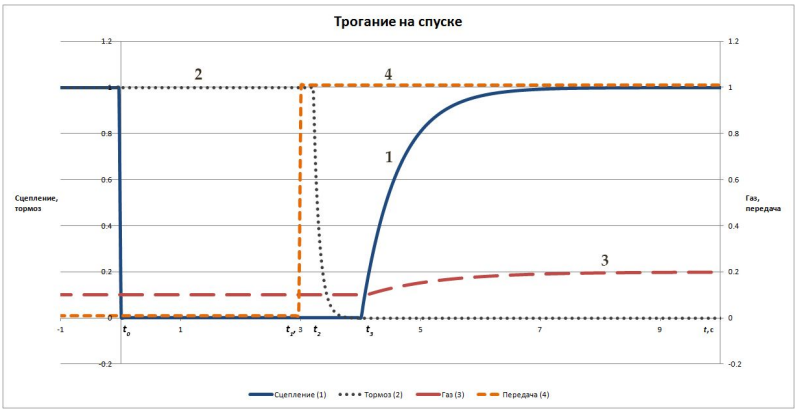


Рис. 3. Программные законы изменения исполнительных органов МРТК при трогании на спуске:
1 — сцепление; *2* — тормоз; *3* — газ; *4* — номер передачи

Следует заметить, что в процессе *построения кривых чрезвычайно важно не нарушать основные экспертные знания*, например снимать тормоз лишь после включения главного фрикциона и увеличения подачи «газа» при трогании на подъеме, и т. д. Форма отрезков кривых определяется чисто качественно, удовлетворяя естественным ограничениям (кусочная гладкость, условия возрастания, убывания, постоянство и т. д.).

Математические модели программных законов управления исполнительного уровня МРТК, показанных в виде согласо-

ванных временных диаграмм, удобно представлять в виде совокупности кубических сплайн-функций, позволяющих хорошую точность приближения отрезков временных диаграмм. Технологии построения кубических сплайн-функций разработаны достаточно хорошо [8], поэтому мы не будем останавливаться на этом.

Авторами созданы формализованные версии «экспертных знаний» в виде согласованных временных диаграмм изменения положения исполнительных органов МРТК для всех вариантов типовых команд движения для всех возникающих ситуаций.

Данные математического моделирования свидетельствуют о принципиальной работоспособности разработанных алгоритмов и о возможности их использования в подсистемах исполнительного уровня МРТК различного назначения. Следует также заметить, что представленные результаты позволяют сформулировать и решить проблему оптимизации программных режимов управления МРТК в условиях неопределенности с использованием робастного принципа максимума [9].

Список литературы

1. *Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э.* Системы управления движением колесных роботов. СПб. : Наука, 2001.

2. *Iagnemma K., Dubowsky S.* Mobile Robots in Rough Terrain. Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2004.

3. *Lamon P.* 3D-position Tracking and Control for All-Terrain Robots. Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2008.

4. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986.

5. *Гуревич Л.А., Лиханов В.А., Сычугов Н.П.* Тракторы и сельскохозяйственные машины. М. : Агропромиздат, 1986.

6. *Кондрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. М. : Наука : Физматлит, 1989.

7. *Приобретение* знаний / пер. с япон. ; под ред. С. Осуги, Ю. Саэки. М. : Мир, 1990.

8. *Альберг Д. ж. Х., Нильсон Е.Х., Уолш Дж.* Теория сплайнов и ее применения. М. : Мир, 1971.

9. *Boltyanski V.G., Poznyak A.S.* The robust maximum principle. Birkhauser, 2012.

О.А. Тягунов, Р.Т. Хасанов
Московский технологический университет (МИРЭА), Россия
e-mail: tyagunov@mirea. ru

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ АВТОНОМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «ВИРТУАЛЬНОГО КОМАНДИРА»

В последнее время значительный интерес во всем мире проявляется к использованию в тяжелых мобильных робототехнических комплексах (МРТК) режима автономного управления, при котором определенная часть функций, выполняемых оператором командного пункта, может передаваться бортовой системе управления.

При этом в МРТК наряду с режимами дистанционного управления могут появляться режимы управления (этапы автономного управления), реализуемые средствами исключительно бортовой системы управления без непосредственного участия оператора командного пункта. По существу, это означает, что за автономное управление на борту МРТК должен отвечать «виртуальный экипаж» — аналог экипажа, управляющего функционированием обычного транспортного средства (ТС). В частности, работой исполнительных органов МРТК должен управлять «виртуальный водитель», а за планирование целесообразного поведения — «виртуальный командир» — аналоги механика-водителя и командира экипажного варианта ТС.

Как известно, движение экипажного варианта ТС может происходить в условиях значительной неопределенности (различные грунты и климатические условия, сложные профили

© Тягунов О. А., Хасанов Р. Т., 2016

движения), поэтому основные характеристики ТС (проходимость, маневренность и др.) при заданном варианте аппаратных средств ТС будут зависеть от квалификации механика-водителя (его способности управлять исполнительными органами с целью повышения характеристик ТС в условиях неопределенности) и командира (его способности выбирать наиболее рациональный вариант маршрута движения ТС). Это означает, что «виртуальный водитель» и «виртуальный командир» безэкипажного варианта ТС (МРТК) должны обладать всеми основными качествами механика-водителя и командира, в частности «интеллектуальностью».

По сути, можно говорить о *концепциях «виртуального водителя» и «виртуального командира»,* которые являются развитием *бионического подхода* к созданию МРТК. В этом случае активно используются возможности, заключающиеся в интеллектуальных способностях реальных водителя и командира ТС при создании их аналогов («виртуального водителя» и «виртуального командира») МРТК без существенного изменения аппаратных средств ТС.

В частности, использование концепции «виртуального командира» МРТК предполагает решение следующих задач:

1) построение карты той области пространства, где происходит перемещение МРТК, включая указание целей и препятствий;

2) расчет траектории движения с использованием сведений из карты;

3) корректировка спланированной траектории при возникновении помех.

Настоящий доклад посвящен постановке и решению задачи построения «виртуальным командиром» траекторий движения автономных МРТК в условиях сложного рельефа местности с привлечением интеллектуальных технологий, основанных на решении задач классического вариационного исчисления с векторными функционалами и известных алгоритмов поиска путей на взвешенных графах, например алгоритмы «Дейкстры», «A*» и т. д.

А.А. Филиппов[1], В.С. Мошкин[2], Н.Г. Ярушкина[3], Д.О. Шалаев[4]
Ульяновский государственный технический университет, Россия
e-mail: [1]al. filippov@ulstu. ru, [2]postforvadim@yandex. ru, [3]jng@ulstu. ru, [4]do. shalaev@ulstu. ru

РАЗРАБОТКА АГЕНТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Введение

В процессе деятельности любой современной крупной организации возникает необходимость в проведении интеллектуального анализа данных. Для проведения такого анализа от специалиста требуется глубокое знание предметной области, умение использовать различные инструменты интеллектуального анализа и знание современных IT-технологий для адаптации существующих решений под особенности конкретной предметной области.

Желание максимально автоматизировать процесс обработки данных с учетом специфики предметной области вызывает потребность в едином универсальном инструментарии управления знаниями, не требующего от пользователя наличия дополнительных навыков в области инженерии знаний [1; 2].

Таким образом, можно выделить ряд научных проблем, стоящих перед современными организациями и требующих системного решения:

— необходимость разработки семантического базиса анализа содержимого электронного хранилища информации;

— отсутствие интегративных концептуальных моделей, использующих различные подходы хранения знаний о предметной области;

— необходимость универсализации процесса автоматизированной обработки хранимых знаний;

© Филиппов А.А., Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г., Шалаев Д.О., 2016

— потребность одновременного применения разноаспектных описаний особенностей рассматриваемой предметной области;

— необходимость решения проблемы учета нечеткости в человеческих рассуждениях [3].

В связи с этим в настоящее время актуальна задача обеспечения специалистов организаций различных профилей универсальным инструментом, позволяющим решать поставленные задачи управления знаниями.

1. Онтология — как база знаний современной компании

Современные производственные организации обладают значительными по объему электронными хранилищами различного рода информации, связанной с деятельностью данного предприятия. Фактически такое электронное хранилище содержит в себе историю предприятия, опыт и знания большого количества высококвалифицированных специалистов.

В работах [4; 5] отмечается, что при увеличении объема электронного хранилища затрудняется анализ его содержимого по заранее заданным реквизитам, а от лиц, принимающих решения, требуются навыки в области семантической обработки большого объема информации, а также глубокие знания предметной области. В результате опыт и знания, зафиксированные в таких хранилищах, остаются невостребованными, что приводит к принятию неверных управленческих, экономических и технических решений.

Учет специфики предметной области приводит к необходимости формирования прикладной онтологии особой структуры, включающей в себя систему понятий предметной области, семантические отношения между ними и функции интерпретации. Ведущие исследователи в области онтологических систем отмечают актуальность исследований, основанных на онтологическом подходе [6; 7]. В их трудах отмечается важность использования онтологического инжиниринга в процессе интеллектуального анализа данных.

Наиболее универсальной и полной с точки зрения охвата специфики предметной области во всем разнообразии отношений между ее объектами является модель интеграции онтологического и продукционного подходов представления знаний, позволяющая в процессе логического вывода соответствующих рекомендаций опираться на данные, представленные в виде онтологии и наиболее полно описывающие рассматриваемую предметную область.

В широком смысле онтологии — это модели, являющиеся формой демонстрации знаний о предметных областях в виде семантических информационно-логических сетей взаимосвязанных объектов, где в качестве главных элементов выступают понятия предметной области с их свойствами и отношения между объектами. Онтологии выполняют интегрирующую функцию, обеспечивая общий семантический базис в процессах принятия решений, интеллектуального анализа данных и единую платформу для объединения разнообразных информационных систем.

В данной работе предлагается подход к построению агента для управления знаниями, включающего в себя объектно-ориентированные, а также нечеткие модели и программные инструментальные средства работы с ними, с использованием онтологического системного анализа.

2. Агент управления знаниями

В качестве основной задачи разработки агента управления знаниями является предоставление механизма адаптации для единой платформы интеллектуального анализа данных [8] к конкретной предметной области с помощью методов онтологического анализа и инженерии знаний (разработка, хранение и использование модели предметной области в виде прикладной онтологии с возможностью экспорта/импорта в различные форматы).

Формально онтологию агента управления данных можно представить в виде следующего выражения:

$$O = \langle C,\ I,\ P,\ S,\ F,\ R \rangle,$$

где C — множество классов онтологии агента; I — множество объектов онтологии агента; P — множество свойств классов онтологии агента; S — множество состояний объектов онтологии агента; F — множество логических правил онтологии агента; R — множество отношений онтологии агента вида:

$$R = \left\{ R^C,\ R^I,\ R^P,\ R^S,\ R^F_{In},\ R^F_{Out} \right\},$$

где R^C — множество отношений, определяющее иерархию классов онтологии агента; R^I — множество отношений, определяющее связь «класс-объект» онтологии агента; R^P — множество отношений, определяющее связь «класс-свойство класса» онтологии агента; R^S — множество отношений, определяющее связь «объект-состояние объекта» онтологии агента; R^F_{In} — множество отношений, определяющее связь между входом логического правила и остальными сущностями онтологии агента; R^F_{Out} — множество отношений, определяющее связь между выходом логического правила и остальными сущностями онтологии агента. При этом множества отношений R^F_{In} и R^F_{Out} представляют в онтологии агента различные динамические процессы предметной области.

Таким образом, онтология агента позволяет описывать не только объекты предметной области предприятия, но и различные производственные процессы, регламентные процедуры и т. д.

На рисунке представлен иллюстративный пример онтологии агента, в которой приводится описание процесса производства детали.

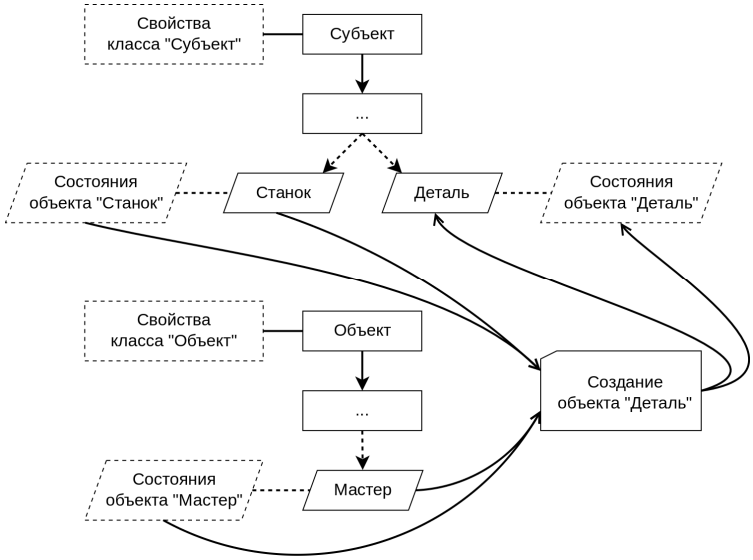


Рис. Иллюстративный пример онтологии агента

Рассматриваемый пример онтологии агента содержит классы «Объект» и «Субъект», для которых заданы определенные наборы свойств. Данные классы являются родителями для всех остальных классов онтологии, при этом свойства родителей наследуют их потомки. Помимо классов, онтология агента содержит объекты «Станок», «Деталь» и «Мастер», каждый объект имеет свой набор состояний. Состав множества состояний объектов онтологии определяется на основе свойств класса родителя указанного объекта, а значения состояний определяются для каждого объекта онтологии в отдельности. Логическое правило «Создание объекта «Деталь» описывает процесс производства детали, имеет два входа: «Станок» и «Мастер» и один выход — «Деталь». При этом множество состояний объекта «Деталь», который будет получен на выходе логического правила, напрямую зависит от набора состояний входных объектов. То есть характеристики готовой детали напрямую зависят от характеристик станка и квалификации мастера.

3. Реализация агента управления знаниями

Для разработки агента управления знаниями были использованы язык программирования Java и фреймворк Spring. Данные средства разработки имеют следующие преимущества:

1. Высокая скорость разработки.
2. Наличие документации и активного сообщества разработчиков.
3. Платформонезависимость.
4. Развитая инфраструктура.

В качестве хранилища онтологии агента управления знаниями используется графовая база данных Neo4j. Эта СУБД обладает такими преимуществами:

1. Нативный формат хранения графов.
2. Один экземпляр СУБД может обслуживать графы с миллиардами узлов и связей.
3. Может обрабатывать графы, которые полностью не помещаются в оперативной памяти.
4. Графо-ориентировнный язык запросов — Cypher.

Агент управления знаниями выполняется в контейнере сервлетов Jetty, который имеет модульную архитектуру, что дает возможность использовать только необходимые возможности [9], снижая нагрузку на сервер.

Также Jetty хорошо масштабируется для обслуживания многих соединений, со значительным временем простоя между запросами и позволяет обслуживать большее количество пользователей.

Для разработки средств взаимодействия с агентом управления знаниями был использован механизм REST (Representational State Transfer — «передача репрезентативного состояния»), при котором вызов удаленной процедуры представляет собой обычный HTTP-запрос (GET, POST, PUT и т. д.), а необходимые данные передаются в качестве параметров запроса. Основные преимущества REST:

1. Надежность за счет отсутствия необходимости сохранять информацию о состоянии клиента, которая может быть утеряна.

2. Производительность за счет использования кэша.
3. Масштабируемость.
4. Прозрачность системы взаимодействия.
5. Простота интерфейсов.
6. Портативность компонентов.
7. Легкость внесения изменений.

Все перечисленные ресурсы, приложения и технологии являются бесплатными и свободно распространяемыми.

Заключение

Таким образом, основное преимущество описанного агента управления знаниями — наличие единого технологического и информационного пространства использования и накопления экспертных знаний о специфике и процессах предметной области организации для решения самых различных задач.

Исследование проведено в рамках государственного задания №2014/232 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности Минобрнауки России по проекту «Разработка нового подхода к интеллектуальному анализу слабоструктурированных информационных ресурсов».

Список литературы

1. *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.

2. *Ярушкина Н.Г.* Интеллектуальный анализ временных рядов : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Прикладная информатика». М., 2012.

3. *Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Афанасьева Т.В.* Интеграция нечетких моделей для анализа временных рядов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, №4—2. С. 506—509.

4. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. М. : МГТУ им. Баумана, 2009.

5. *Титов Ю.А.* САПР технологических процессов. Ульяновск, 2009.

6. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000.

7. *Добров Б.В., Лукашевич Н.В.* Лингвистическая онтология по естественным наукам и технологиям: основные принципы разработки и текущее состояние // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (Обнинск, 25—28 сентября 2006 г.). М. : Физматлит, 2006.

8. *Филиппов А.А., Мошкин В.С., Шалаев Д.О. и др.* Единая онтологическая платформа интеллектуального анализа данных // Материалы VI междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2016. Минск, 2016. С. 77—82.

9. *Greg* Wilkins Jetty vs Tomcat: A Comparative Analysis, 2008. URL: http://www.webtide.com/choose/jetty.jsp.

Секция 4

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ, ОНТОЛОГИИ, МЯГКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Руководители секции — д-р техн. наук, проф. Г. С. Осипов
д-р техн. наук, проф. Н. Г. Ярушкина

А. В. Абаян[1], В. П. Карп[2]
Московский технологический университет (МИРЭА), Россия
e-mail: [1]arsen@abayan. ru, [2]karpvica@mail. ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИК ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТА В КОГНИТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Примеры успешного развития и применения гибридных интеллектуальных систем во многих фундаментальных и прикладных научных областях, дают нам основание рассчитывать на создание и использование новых плодотворных технологий, построенных на принципах гибридных интеллектуальных систем, в когнитивных исследованиях сложных динамических многопараметрических объектов для расширения профессиональных знаний специалиста [1].

Применение построенных диагностических правил (ДП) в автоматизированных системах обеспечивает достаточно высокий уровень решения основной задачи — классификации. Тем не менее исследователю требуется также понимание содержательной сути и выявление взаимосвязей сформированных ДП. Это может быть достигнуто за счет использования ранее разработанных алгоритмов [2; 3], позволяющих формировать кластеры ДП (КДП) и интерпретировать их семантическую составляющую, что способствует расширению профессиональных знаний в данной предметной области.

По сути дела, результаты, достигнутые с использованием вышеперечисленных методов и алгоритмов исследования яв-

© Абаян А. В., Карп В. П., 2016

ляются демонстрацией решения так называемых ***прямых задач*** — определение состояния объекта на основе имеющихся исходных данных, начальных и граничных условий, известных закономерностей его поведения, т. е. установление причинно-следственных зависимостей [4].

На фоне полученных результатов стала очевидна перспектива рассмотрения кластеров в другом, новом аспекте, а именно — выявление не только кластеров ДП, но и кластеров объектов (КО) по совокупностям КДП, которыми они характеризуются. Это позволит специалисту-исследователю определять типичные значения характеристик объектов для каждого выявленного КО, а также оценивать их гомогенность.

Данный подход — демонстрация решения так называемых ***обратных задач***: определение того, какими должны быть исходные данные, начальные условия и закономерности, чтобы объект приобрел нужное состояние, т. е., зная следствие, требуется выявить причину или совокупность причин, которые приведут к данному состоянию [4].

В настоящем докладе представлены результаты исследования решения реальной медицинской задачи, связанной с диагностикой сахарного диабета у пациентов с нарушениями работы почек. Для этого были выполнены работы по созданию интеллектуальной технологии формирования новых знаний, в которой акцент сделан на формализации и интерпретации выявленных «компьютерных» знаний (КДП/КО), включая:

— развитие фундаментальных исследований по разработке новых методов и алгоритмов для систем поддержки принятия решений (СППР);

— прикладные разработки по реализации востребованных модулей структурного анализа сложных данных.

Наиболее значимыми и результативными для выявления новых профессиональных знаний стали работы по созданию:

— концепции приобретения новых знаний (рис. 1);

— алгоритмов формирования кластеров объектов, построенных на множестве кластеров диагностических правил;

— алгоритмов семантической интерпретации их свойств.

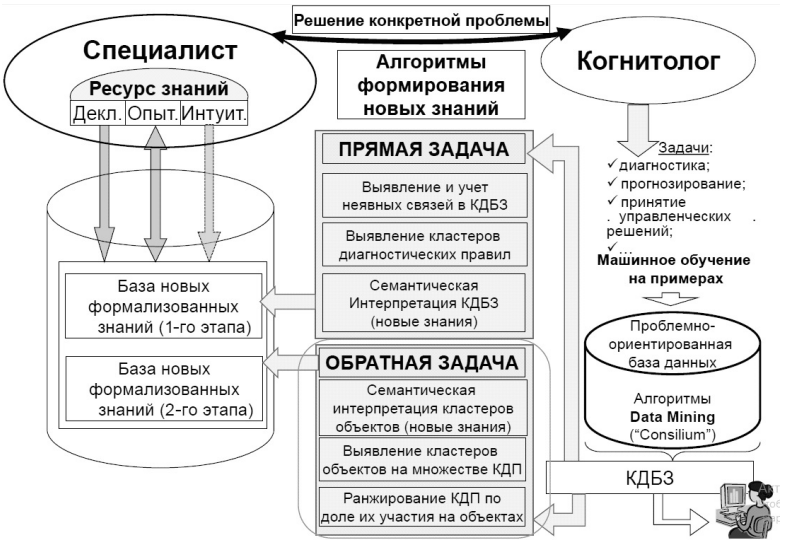


Рис. 1. Разработанная концепция приобретения новых знаний

Разработанные алгоритмы предоставляют специалисту-исследователю возможности: определения характерных значений свойств объектов в выделенных кластерах и оценки однородности распределения объектов на всем множестве сформированных кластеров диагностических правил, что способствует формированию новых профессиональных знаний.

Исследование проводилось в два этапа: решение прямой и обратной задач (см. концепцию).

Решение ***прямой задачи*** заключалось в формировании диагностических правил с помощью СППР Consilium [5], сводных таблиц голосования, кластеров диагностических правил (КДП) и соответствующих им таблиц семантической интерпретации.

Для решения ***обратной задачи*** был предложен принцип формирования кластеров объектов по совокупностям КДП, которыми они характеризуются [6]. Нами разработан алгоритм *последовательного ранжирования КДП* (табл. 1, 2), ориентиро-

ванный на выделение максимально независимых кластеров объектов. Это достигается введением понятия «вес» для каждого КДП, вычисляемого после каждой операции сортировки КДП:

$$W_i = \ln \frac{p_i + \varepsilon}{q_i + \varepsilon},$$

где p — соотношение количества новых определенных объектов к общему количеству еще не определенных объектов; q — соотношение количества определенных объектов к общему количеству ранее определенных объектов.

Таблица 1

Примеры расчетов и ранжирования для КДП класса А

КДП	После А1	После А3
А2	0,811	1,041
А3	0,916	—
А4	0,916	0,754

Таблица 2

Примеры расчетов и ранжирования для КДП класса В

КДП	После В1	После В8	После В3	После В9	После В6
В2	−0,136	−0,129	−0,059	0,336	0,588
В3	−0,387	0,053	—	—	—
В4	−0,310	−0,129	—	—	—
В5	0,000	−0,129	−0,123	−0,194	−0,693
В6	−1,186	−0,417	0,164	0,560	—
В7	−0,716	0,053	—	—	—
В8	2,147	—	—	—	—
В9	0,424	0,053	0,634	—	—

После выполнения ранжирования КДП классов А и В по алгоритму последовательного ранжирования КДП были выявлены следующие кластеры объектов, построенные на множестве кластеров диагностических правил (рис. 2, 3).

КЛАСТЕРЫ ОБЪЕКТОВ (КЛАССА А), СГРУППИРОВАННЫЕ ПО СТЕПЕНИ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ																
∑ (18) 18/24 = 75%	КЛАСТЕР	СЧЕТ ПО КДП	А1										А3 (5) 5/24=20,83%	А2 (9) 8/24=33,33%		А4 (6) 5/24=20,83%
			1	3	5	7	8	10	11	12			2	6	4	9
№ объекта			РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПО КЛАСТЕРАМ ДЛЯ КЛАССА (А)													
11	1 14/24 58,33%	2 - 0	1		5	7	8	10						6		
35		2 - 0		3		7	8	10						6	4	
20		2 - 0	1		5			10		12					4	
13		3 - 0	1	3					11	12			2			9
59		2 - 0	1		5			10		12						9
9		3 - 0	1		5			10						6	4	9
14		2 - 0		3					11	12			2			
4		1 - 0			5	7	8									
42		1 - 0	1						11	12						
26		2 - 0		3					11				2			
51		1 - 0				7	8									
57		1 - 0				7	8									
2		1 - 1				7	8									
27		2 - 0		3										6		
32		1 - 0							11							
22	2 2/24 8,33%	3 - 0											2	6		9
61		1 - 0											2			
56	3 2/24 8,33%	2 - 0												6	4	9
6		1 - 0													4	
24	? 6/24 25%	0 - 0														
28		0 - 0														
33		0 - 0														
50		0 - 0														
54		0 - 0														
60		0 - 0														
НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%)			15/19=78,95%										5/19=26,32%	8/19=42,11%		5/19=26,32%
ОТНОСИТЕЛЬНО МАТЕРИАЛА (%)			15/65=23,08%										5/65=7,69%	8/65=12,31%		5/65=7,69%
ДОПОЛНЯЮЩИЙ ВКЛАД (%)			-										2/4=50%	2/2=100%		*
ИЗ РАНЕЕ РАСПОЗНАННЫХ (%)			-										3/15=20%	6/17=35,29%		5/19=26,32%

Рис. 2. Результат работы алгоритма кластеризации объектов на множестве КДП класса А (компенсированные состояния)

КЛАСТЕРЫ ОБЪЕКТОВ (КЛАССА В), СГРУППИРОВАННЫЕ ПО СТЕПЕНИ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ													
Σ(40) 40/41= 97,56%	КЛАСТЕР	СЧЕТ ПО КДП	B1										B8
			5	6	10	13	15	16	18	20	21	23	7
№ объекта			РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПО КЛАСТЕРАМ ДЛЯ КЛАССА (В)										
30	1 21/41 51,22%	0-4	5	6	10	13		16		20	21	23	
46		0-4	5	6		13		16		20	21	23	
38		0-4	5	6	10	13		16	18		21		
19		0-4	5	6		13	15	16				23	
44		0-3	5	6		13	15	16				23	
25		0-4	5	6	10					20	21	23	
52		0-2	5	6		13			18	20	21		
17		1-2	5	6		13		16		20			
36		0-2	5			13					21		
48		0-4					15		18				
37		0-5					15		18				7
45		1-2					15		18				
40		1-3		6				16					
15		0-3			10								
18		0-3					15						
5		0-4			10								
3		0-3			10								
16		0-4					15						
34		0-3							18				
23		0-3								20			
2		1-1			10								
8		0-1			10								
39	2 7/41 17,07%	0-2											7
49		0-2											7
12		0-4											7
58		0-3											7
7		1-3											7
62		0-2											7
10		0-2											7
64	3 4/41 9,76%	0-3											
31		0-2											
63		0-3											
41		0-2											
53	4 2/41 4,88%	0-2											
47		0-1											
55	5 1/41 2,44%	0-2											
43	6 2/41 4,88%	0-1											
65		0-1											
21	6 2/41 4,88%	0-1											
29		0-1											
1	? 1/41 2,44%	0-0											
НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%)			22/40=55%										8/40=20%
ОТНОСИТЕЛЬНО МАТЕРИАЛА (%)			22/65=33,85%										8/65=12,31%
ДОПОЛНЯЮЩИЙ ВКЛАД (%)			-										7/18=38,89%
ИЗ РАНЕЕ ОПОЗНАННЫХ (%)			-										1/22=4,55%

Рис. 3. Результат работы алгоритма кластеризации объектов на множестве КДП класса В (декомпенсированные состояния)

КЛАСТЕРЫ ОБЪЕКТОВ (КЛАССА В), СГРУППИРОВАННЫЕ ПО СТЕПЕНИ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ																	
Σ(40) 40/41= 97,56%	КЛАСТЕР	СЧЕТ ПО КДП	B3			B9	B6	B2		B5				B7	B4
			1	8	12	2	22	4	19	3	9	14	24	17	11
№ объекта			РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПО КЛАСТЕРАМ ДЛЯ КЛАССА (В)														
30	1 21/41 51,22%	0-4	1		12		22			3	9				
46		0-4	1		12		22	4	19						
38		0-4					22			3	9			17	
19		0-4						4					24		11
44		0-3						4							11
25		0-4	1	8	12	2				3					
52		0-2													11
17		1-2						4	19						
36		0-2		8											
48		0-4				2		4							11
37		0-5	1		12						9	14			11
45		1-2								3					
40		1-3		8	12									17	
15		0-3	1	8				4							
18		0-3						4						17	
5		0-4	1			2						14	24		
3		0-3				2						14	24		
16		0-4	1	8							9			17	
34		0-3								3				17	
23		0-3					22					14			
2		1-1													
8		0-1													
39	2 7/41 17,07%	0-2						4							
49		0-2							19						
12		0-4				2				3	9	14			11
58		0-3				2					9	14			
7		1-3		8									24		
62		0-2											24		
10		0-2				2									
64	3 4/41 9,76%	0-3	1	8	12						9			17	
31		0-2	1	8	12									17	
63		0-3	1		12			4	19						11
41		0-2	1												11
53	4 2/41 4,88%	0-2				2				3					
47		0-1				2									
55	5 1/41 2,44%	0-2					22			3	9				
43	6 2/41 4,88%	0-1							19						
65		0-1							19						
21	6 2/41 4,88%	0-1										14			
29		0-1								3					
1	? 1/41 2,44%	0-0													
НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%)			14/40=35%			9/40=22,5%	5/40=12,5%	12/40=30%		20/40=50%				7/40=17,5%	8/40=20%
ОТНОСИТЕЛЬНО МАТЕРИАЛА (%)			14/65=21,54%			9/65=13,85%	5/65=7,69%	12/65=18,46%		20/65=30,77%				7/65=10,77%	8/65=12,31%
ДОПОЛНЯЮЩИЙ ВКЛАД (%)			4/11=36,36%			2/7=28,57%	1/5=20%	2/4=50%		2/2=100%				*	*
ИЗ РАНЕЕ ОПОЗНАННЫХ (%)			10/29=34,48%			7/33=21,21%	4/35=11,43%	10/36=27,78%		18/38=47,37%				7/40=17,5%	8/40=20%

Рис. 3. Окончание (начало см. на с. 327)

По представленным результатам видно, что объекты класса В (декомпенсированные состояния), в отличие от объектов класса А (компенсированные состояния), группируются, в том числе в такие кластеры, которые имеют минимальные пересечения по своим характеристикам с другими кластерами объектов (кластер №2). То есть, несмотря на то, что эти объекты характеризуются одним и тем же состоянием диабета (декомпенсированным), они не являются гомогенными. Более того, среди них можно выделить практически альтернативные (по значениям характеристик) кластеры объектов.

В дополнение к перечисленному были разработаны алгоритмы, позволяющие исследователю получать наглядную семантическую интерпретацию значений характеристик интересующего кластера объектов (рис. 4).

Семантическая интерпретация кластера объектов №2													
Сформированые подкластеры				**№ сим.**	**Номер и название признака**	**Интервал значений признака**	**№ сим.**	**Номер и название признака**	**Интервал значений признака**	**№ сим.**	**Номер и название признака**	**Интервал значений признака**
				Ведущие симптомы			**Присоединенный симптом**					
Кластер № 8 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 7/7= 100%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 7/8= 87,50%												
110	110		(0-8)	110	30: Холест. высок. плотн.	Менее 1	110	30: Холест. высок. плотн.	Менее 1			
Кластер № 5 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 4/7=57,14%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 4/20=20,00%												
94	98		(0-7)	94	26: Альб-креат.соотн.	Менее 3,5	98	27: Скор. клуб.фильтр.	От 30 до 50			
98				98	27: Скор. клуб.фильтр.	От 30 до 50						
94	8	85	(0-5)	94	26: Альб-креат.соотн.	Менее 3,5	8	3: Возраст	Менее 60; От 60 до 70;	85	23: Калий	От 5 до 5,5; Более 5,5;
98	84	84	(0-8)	98	27: Скор. клуб.фильтр.	От 30 до 50	84	23: Калий	От 4,5 до 5	84	23: Калий	От 4,5 до 5
	88	88	(0-9)				88	24: Натрий	Менее 140	88	24: Натрий	Менее 140
Кластер № 9 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 3/7=42,86%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 3/9=33,33%												
66	66		(0-9)	66	19: Креатинин	От 110 до 160	66	19: Креатинин	От 110 до 160			
Кластер № 2 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 2/7=28,57%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 2/12=16,67%												
115	79		(0-6)	115	31: Холест. низк. плотн.	От 2,8 до 4,3; Более 4,3;	79	22: Фосфор	Менее 1,2			
99	47		(0-9)	99	27: Скор. клуб.фильтр.	Более 50	47	14: СОЭ	Менее 10; От 10 до 25;			
Кластер № 3 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 1/7=14,29%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 1/14=7,14%												
36	101	31	(0-8)	36	11: Моноциты	Менее 6	101	28: Общ. холестерин	Менее 5; От 5 до 6,5;	31	9: Нейтрофилы	Более 65
Кластер № 4 - НЕЗАВИСИМЫЙ ВКЛАД (%) 1/7=14,29%, ВХОЖДЕНИЕ КДП (%) 1/8=12,50%												
47	28		(0-8)	47	14: СОЭ	Менее 10; От 10 до 25;	28	8: Лейкоциты	Более 9			

Рис. 4. Семантическая интерпретация значений характеристик кластера объектов № В2

Таким образом, результатами наших исследований подтверждается перспективность использования методик решения прямых и обратных задач для широкого круга исследований, когда [6]:

— неодновременно и не независимо друг от друга измеряется большое число параметров;

— число параметров неопределенно велико;

— исходные данные обладают большими размерностями, для них неизвестен закон распределения, они являются неполными, неточными и зашумленными.

Данный подход оптимален для расширения профессиональных знаний эксперта в когнитивных исследованиях сложных динамических многопараметрических объектов.

Список литературы

1. *Карп В.П., Саруханов Б.А.* Методы искусственного интеллекта в проблеме расширения профессиональных знаний специалиста // Научный вестник МИРЭА. 2013. №1. С. 9—22.

2. *Саруханов Б.А., Карп В.П.* Алгоритм кластеризации диагностических правил компьютерной базы знаний, представленной в виде продукционной модели, как средство поддержки процесса расширения знаний эксперта // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2015. №25. С. 29—37.

3. *Лиситчук А.И., Карп В.П.* Алгоритм семантической интерпретации кластеров диагностических правил для представления их на профессиональном языке пользователя // НТК-63 МИРЭА. 2014. С. 42—43.

4. *Усманов А.* Прямая и обратная задача. URL: http://old.civitas.ru/article.php?code=719 (дата обращения: 18.01.2016).

5. *Карп В.П.* Методы и средства контроля и диагностики сложноорганизованных объектов. М. : МИРЭА, 2008.

6. *Ольховой А.Ф.* Обратные некорректные задачи. Введение в проблематику. Таганрог : Изд-во Технологического института ЮФУ ГСП 17А, 2009.

А. И. Березин
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Россия
e-mail: beraliv. spb@gmail. com

МНОЖЕСТВО МИНИМАЛЬНЫХ ГРАФОВ СМЕЖНОСТИ: ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ЯЗЫКЕ C#

Введение

Алгебраические байесовские сети — яркий пример вероятностных графических моделей [1—4], которые позволяют обрабатывать большие объемы данных. Их основное преимущество — декомпозиция предметной области на отдельные фрагменты знаний (ФЗ), которые впоследствии образуют сеть, называемую вторичной структурой.

Над этой структурой описан логико-вероятностный вывод (ЛВВ) [5], в том числе глобальный вывод. Так как исследователи зачастую сталкиваются с набором ФЗ, то необходимо построение минимального графа смежности (МГС). В некоторых случаях оказывается достаточным генерация единственного МГС. Однако для глобального вывода его может быть недостаточно, так как граф не всегда удовлетворяет некоторому набору свойств. Тогда следует рассматривать множество МГС (ММГС).

Целью данной работы является ознакомление с методом генерации ММГС, представление алгоритмов и примеров их работы в рамках формирующегося программного комплекса на `C#`.

1. Множество минимальных графов смежности

Четверку (Workloads, NecessaryEdges, StereoSeparators, StereoHoldings) обозначим как `ModelKit`, где `Workloads` — множество нагрузок, или первичная структура [6], `NecessaryEdges` — обязательные ребра, или объединение всех ребер сужения на каждый бисепаратор, `StereoHoldings` — множество

© Березин А. И., 2016

владений для каждого стереосепаратора, или множество компонент связности сильных сужений на каждый элемент множества StereoSeparators.

Алгоритмы синтеза подмножества МГС по ModelKit будем называть *алгоритмами сборки*.

1.1. Примеры алгоритмов

Ниже приведен псевдокод алгоритма сборки:

```
input: ModelKit, T      // T — тип построения жил
ensure: StereoSeparators ⋃ NecessaryEdges ≠∅
1: foreach s in StereoSeparators
2:    Sinews[s] = Sinews(T, StereoHoldings[s])
3: EdgesSets = UAF(Sinews)
4: SMJG = ∅
5:    foreach ES in EdgesSets
6:      SMJG ⋃= (Workloads, ES ⋃ NecessaryEdges)
7:    if (EdgesSets == ∅)
8:      SMJG = (Workloads, NecessaryEdges)
9:    return SMJG
```

$UAF(S) = \otimes S_i$, где $A \otimes B = \otimes(A_i \bigcup B_i)$ обозначает *объединяющую алгебраическую свертку* набора множеств. Функция Sinews обозначает любую функцию построения жил.

Далее приведен один из алгоритмов генерации множества ModelKit по первичной структуре, или *МК-алгоритм*, остальные алгоритмы можно подробнее изучить в [7]:

```
input: Workloads
ensure: Workloads ∈ PrimaryStructure
1:    SSaMV = SSaMV(Workloads)
2:    foreach s in Separators
3:       if (|MainVertices[s]| == 2)
4:          if (IsChildless(s))
5:             NecessaryEdges ⋃=
               (MainVertices[s][0],
               MainVertices[s][1])
```

```
6:       else
7:          Holdings = Components(StrongNarrowing
   (MainVertices[s], s, SSaMV))
8:    if (|Holdings| > 1)
9:             StereoSeparators ⋃= (s)
10:       StereoHoldings[s] = Holdings
11:   return (Workloads, NecessaryEdges,
             StereoSeparators, StereoHoldings)
```

`SSaMV(W)` — функция, возвращающая тройку (Separators, MainVertices, SeparatorTable), — алгоритм построения множества непустых сепараторов и множества их основных вершин по первичной структуре.

`IsChildless(s)` — проверка, является ли сепаратор бездетным, т. е. отсутствует ли сын у данного сепаратора в третичной структуре.

`StrongNarrowing(NarrowedVertices, s, SSaMV)` — сильное сужение на заданный сепаратор.

2. Программный комплекс

Программная часть включает в себя множества классов, необходимых для успешного построения ММГС. Как было описано выше, построение — двухфазный алгоритм, первая фаза которого — построение четверки `ModelKit` по множеству нагрузок вершин, а вторая — сам алгоритм сборки, генерирующий ММГС по сформировавшейся четверке. Для применения МК-алгоритмов потребовались реализации третичной и четвертичной структур [8], которой занимается коллега по проекту, а также различные дополнительные структуры. Неотъемлемой частью алгоритма сборки является построение множества жил, значительно влияющее на время генерации необходимого множества.

Как базовый класс для представления графа используется `BidirectionalGraph` из сторонней, свободно распространяемой библиотеки `Graph#`. Также для представления ФЗ другим коллегой по проекту был реализован общий интерфейс, который понадобится при объединении ЛВВ и структурных частей проектов.

2.1. Архитектура

Далее (рис. 1) приведена структура алгоритма синтеза ММГС, которая используется в программном комплексе `C#`.

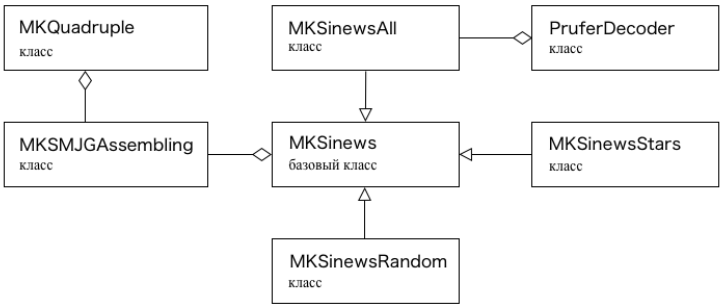


Рис. 1. Диаграмма классов двухфазного алгоритма в программном комплексе

2.2. Пример

В ходе тестирования кода были выявлены интересные тестовые наборы, один из которых будет здесь представлен. Рассмотрим реализацию всевозможных МГС с помощью класса жил `SinewsAll`. Для построения подобных жил используются коды Прюфера [7; 9]. Ниже покажем все промежуточные результаты МК-алгоритма (рис. 2).

Далее над каждым владением строим множество всевозможных деревьев с помощью кода Прюфера. В данном случае мощность множества деревьев равна $n^{n-2} = 2^0 = 1$. Затем по деревьям строятся множества жил, в вышеприведенном примере мощность такого множества равна $m \cdot n = 1 \cdot 2 = 2,$ где m — количество вершин в компоненте связности `{cde}`, а n — количество вершин в компоненте связности `{efg, eg}`. Объединяя множества жил с обязательными ребрами поэлементно, получаем ММГС (рис. 3).

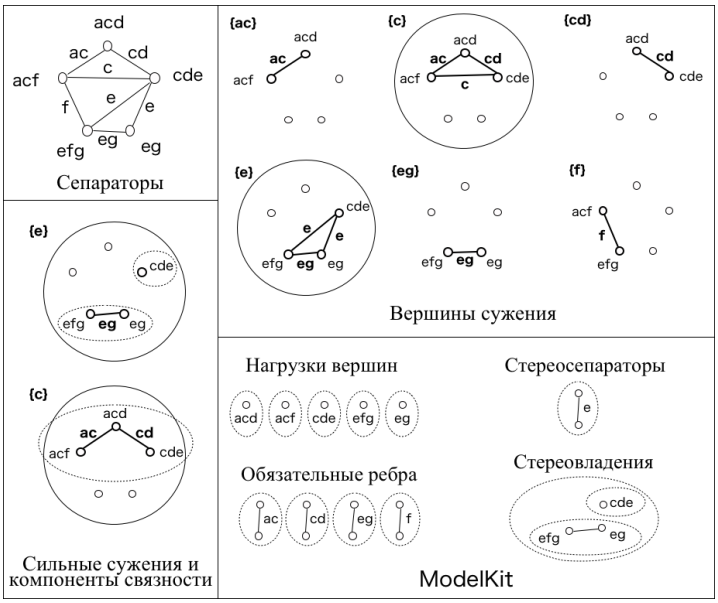


Рис. 2. Пример генерации множества ModelKit [10]

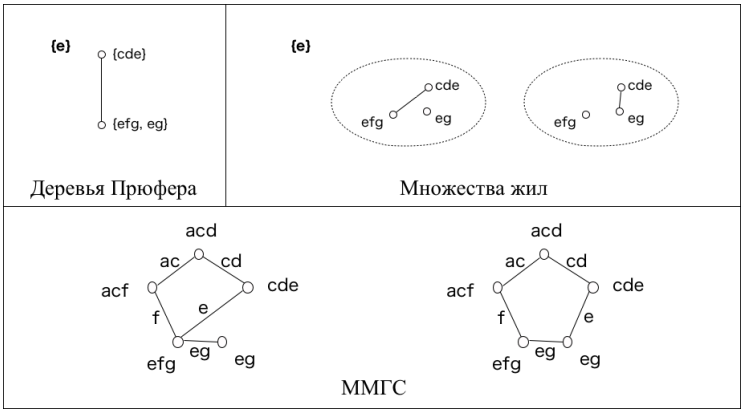


Рис. 3. Алгоритм сборки и генерация ММГС
по множеству жил SinewsAll с использованием кода Прюфера

Заключение

В настоящей статье были представлены базовые определения ММГС, приведены псевдокоды алгоритмов, используемые для его генерации, показаны архитектура программного комплекса с диаграммами классов, а также несколько тестовых примеров работы двухфазного алгоритма синтеза ММГС. Данное построение представляет научный интерес и поможет в дальнейших исследованиях при реализации глобального вывода; кроме того, полученные результаты позволят интегрировать в единый комплекс программ реализации алгоритмов представления и обработки знаний с неопределенностью на основе байесовских сетей доверия.

Статья содержит материалы исследований, частично поддержанных грантом РФФИ 15-01-09001 — «Комбинированный логико-вероятностный графический подход к представлению и обработке систем знаний с неопределенностью: алгебраические байесовские сети и родственные модели».

Список литературы

1. *Dlamini, Wisdom M.* A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland // Environmental modelling & software. 2010. Vol. 25, №2. P. 199—208.

2. *Razib R.H., Nikolaev A.* Probabilistic Graphical Modeling method for inferring hydraulic conductivity maps from hydraulic head maps // Journal of Hydrologic engineering. 2016. Vol. 21, №2.

3. *Richards R.G., Sano M., Sahin O.* Exploring climate change adaptive capacity of surf life saving in Australia using Bayesian belief networks // Ocean & Coastal management. 2016. Vol. 120. P. 148—159.

4. *Yodo N., Wang P.* Resilience Modeling and Quantification for Engineered Systems Using Bayesian Networks // Journal of Mechanical Design. 2016. Vol. 138, №3.

5. *Farine D.R., Strandburg-Peshkin A.* Estimating uncertainty and reliability of social network data using Bayesian inference // Royal Society open science. 2015. Vol. 2, №9. P. 150367.

6. *Фильченков А.А., Тулупьев А.Л.* Связность и ацикличность первичной структуры алгебраической байесовской сети // Вестник СПбГУ. Сер. 1: Математика, механика, астрономия. 2013. №1. С. 110—118.

7. *Фильченков А.А., Фроленков К.В., Сироткин А.В., Тулупьев А.Л.* Система алгоритмов синтеза подмножеств минимальных графов смежности // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 4, №27.

8. *Фильченков А.А.* Синтез графов смежности в машинном обучении глобальных структур алгебраических байесовских сетей : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Самара, 2013. С. 339.

9. *Lennon C.* On the Locality of the Prufer Code // Electronic Journal of Combinatorics. 2009. Vol. 16, №1.

10. *Mal'chevskaya E.A., Berezin A.I., Zolotin A.A., Tulupyev A.L.* Algebraic Bayesian Networks: Local Probabilistic-Logic Inference Machine Architecture and Set of Minimal Joint Graphs // Proceedings of IITI'16 (May 16—21, 2016, Rostov-on-Don — Sochi, Russia) [In print.]

В.А. Борзенков
БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия
e-mail: vaborzenkov@yandex. ru

МЕТОД СБОРА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ШАБЛОНОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Введение

Разработка или внедрение распределенных автоматизированных систем управления энергетическими, сельскохозяйственными объектами и комплексами, сборочными производствами — достаточно трудоемкий процесс в части сбора и последующего уточнения информации, характеризующей предметную область. Выполняемый сбор информации о предметной области (ПО) требует ее оперативной верификации, позволяющей в дальнейшем значительно сократить сроки исследования.

Подходы в сборе информации о предметных областях подробно рассмотрены Я.А. Хетагуровым [1], И.Д. Рудинским [2], Г.Н. Смирновой [3; 4]. Однако в них не описаны исследовательские процедуры и документы (шаблоны), в которых исследователь оперативно отражает характеристики ПО и производит их верификацию с ее владельцем.

© Борзенков В.А., 2016

Отсутствие таких шаблонов усложняет оперативную фиксацию характеристик предметной области, их однозначное понимание исследователем и владельцем области, а также верификацию в реальном масштабе времени. Только после изучения протоколирования и выверки характеристик рассматриваемой ПО можно приступить к ее исследованию с применением различных методологий. Таким образом, возникает потребность в исследовательском шаблоне и методе сбора, отражения и верификации характеристик ПО.

Настоящая работа посвящена описанию метода сбора информации, позволяющего зафиксировать совокупность характеристик предметной области в шаблоне для проведения исследований в стационарных условиях с применением современных методик (например, методики исследования ПО для разработки гетерогенных баз знаний [5], методов семейства IDEF) и программных комплексов.

1. Описание метода сбора информации при исследовании предметных областей

Метод сбора информации при исследовании ПО заключается в детальном выявлении и описании ее характеристик: событий, происходящих в ней, выполняемых работ, участников событий и работ и используемых данных, например документооборота в случае последующей автоматизации системы управления предприятием или действий при автоматизации технологических процессов.

В предлагаемом методе предпринята попытка соединить по времени сбор информации о ПО, ее описание и верификацию специалистом у владельца посредством применения исследовательского шаблона в различных точках процесса функционирования предметной области.

Бизнес-процесс предметной области состоит, как правило, из запускающего внешнего события, выполняемых работ, запускаемых и завершаемых внешних событий, участников и владельца процесса, временных параметров, используемых ресурсов документооборота и завершающего функционирование события, передающего об этом информацию бизнес-про-

цессу ПО, запустившему данный процесс. Предметные области состоят из цепочек событий, работ, описывающих деятельность исследуемых процессов. Рассмотрим шаблон для описания и последующего исследования бизнес-процесса (процедуры), функционирующего в системе управления производственным циклом предприятия (рис. 1).

Наименование бизнес-процесса:						
Код БП:		Составитель БП:				
Промплощадка:		Период описания:	Начало		Конец	
№ действия в БП:						
Действие:						
Исполнитель/ подразделение						
Руковод. документы						
Примен. метод						
Используемый ресурс:						
наименование						
роль, модуль						
Время исполнения						
Результат						
Используемые документы:						
наименование						
код формы						
Получен:						
откуда						
от кого						
кем						
как						
кол-во экземпляров						
№ БП предыд.						
Передан:						
куда						
кому						
кем						
как						
кол-во экземпляров						
№ действия в БП или другой БП для дальнейшей обработки						
Примечание:						

Страница 1

Рис. 1. Шаблон для описания бизнес-процесса предметной области

В шапке шаблона указывается наименование бизнес-процесса, принятого на производстве и понятного производственному персоналу, с которым будет согласовываться его описа-

ние. Каждый производственный бизнес-процесс должен предварительно классифицироваться и иметь свой индивидуальный код для его последующей обработки с применением исследовательских методик. Фиксируются должности и фамилии исследователя и владельца.

Каждый бизнес-процесс состоит из событий и работ, которым посвящается отдельный лист шаблона. Например, бизнес-процесс «Получение комплектующих из цеха комплектации на склад обменного фонда» состоит из семи вкладок. При применении безбумажной технологии шаблон ведется в формате Microsoft Excel и используется на любом планшете. В шапке шаблона дополнительно указываются: номер действия в бизнес-процессе, время начала и окончания его описания и производственная площадка, на которой он выполняется.

При описании бизнес-процесса специалист, исследующий предметную область, производит не только его изучение, но и верификацию, находясь в постоянном контакте с владельцем процесса и его участниками. Результатом является полное и подробное описание бизнес-процесса ПО с комплектом документов, позволяющее приступить к ее более подробному изучению с применением современных методик и программных комплексов.

2. Результаты применения метода сбора информации на основе шаблона

Рассмотрим на примере автомобильного сборочного предприятия исследование ПО его производственного цикла — «Склад обменного фонда» (СОФ). СОФ участвует в подготовке и организации выполнения сборочного процесса производства автомобилей, гарантирующего выпуск качественной продукции в запланированный срок. Главная задача СОФ — оперативное обеспечение производства деталями на случай обнаружения брака деталей, выявленного при комплектовании партии или в процессе сборочного производства.

При исследовании предметной области СОФ выделено несколько бизнес-процессов, которые были впоследствии сведены к единому бизнес-процессу — «Получение комплектую-

щих из цеха комплектации на склад обменного фонда». Внешнее событие, запускающее этот бизнес-процесс, — факт подготовки деталей для передачи на СОФ. Рассмотрим результаты сбора информации по одному из действий этого бизнес-процесса — «Выписать накладную для внутреннего перемещения излишков товаров на СОФ» (рис. 2).

Наименование бизнес-процесса:			Получение комплектующих из цеха комплектации на склад обменного фонда			
Код БП: Х4Х.БП/03.8/000003.001		Составитель БП:	Вед. инженер по ПО ОАСУП Борзенков В.А.			
Промплощадка:	2	Период описания:	Начало	30.07.2004	Окончание	
№ действия в БП:	1	Точка зрения:	**Вед. инженер по комплектации Иванов В.А.** **Бригадир по комплектации Сидоров И.Г.** **Контролер ОВК Семенов И.А.**			
Действие:	Выписать накладную для внутреннего перемещения излишков товаров на СОФ					
Исполнитель/ подразделение	Бригадир/ Цех комплектации АСП2					
Руковод. документы	Инструкция о несоответствующей продукции при приемке комплекта. Инструкция о ведении материальных ценностей в цехе комплектации					
Примен. метод	Автоматизированный					
Используемый ресурс:						
наименование	ПК «NEXT»					
роль, модуль	Кладовщик, Материальный учет					
Время исполнения	приблизительно 1 час					
Результат	1. Накладная на внутреннее перемещение выписана; 2. Товары к передаче подготовлены; 3. Зеленые бирки на товары стоимостью > 1 евро ОТК подготовлены 4. Акт о браке/ Акт пересортицы					
Используемые документы:	**V**	**данные:**				
наименование	1. Накладная на внутренне перемещение товаров - 2 экз. 2. Зеленые бирки - комплект 3. Акт о браке/ Акт пересортицы 4.Товарно-транспортная накладная (поставщика), Упаковочный лист, Счет-фактура.					
код формы	Уточнить!					
Получен:						
откуда	От поставщика					
от кого	От перевозчика					
кем	Инженером по комплектации					
как	Лично					
кол-во экземпляров	5					
№ БП предыд. обраб.						
Передан:						
куда	Склад СОФ цеха комплектации					
кому	Кладовщику СОФ					
кем	Бригадиром цеха комплектации					
как	нарочным, непосредственно при передаче товаров					
кол-во экземпляров	все подготовленные					
№ действия в БП или другой БП для дальнейшей обработки						
Примечание:	Излишки: 1. остатки после комплектования Лота; 2. пересортица согласно Акту пересортицы на Лот (подготовленный ОТК)					

Рис. 2. Описание действия бизнес-процесса «Получение комплектующих из цеха комплектации на склад обменного фонда» на основе исследовательского шаблона

Бригадир цеха комплектации, основываясь на «Инструкции о несоответствующей продукции при приемке комплекта» и «Инструкции о ведении материальных ценностей в цехе комплектации» формирует накладные на внутреннее перемещение материальных ценностей из цеха комплектации на СОФ. Собирая информацию, исследователь находится в постоянном контакте со специалистами, работающими в изучаемом бизнес-процессе, включая его владельца, что позволяет оперативно уточнять детали их деятельности, документооборота и возможных инцидентов, т. е. производить верификацию.

Приведенный частичный пример показывает процесс проведения сбора информации при исследовании ПО производственного цикла сборочного производства СОФ с параллельным подробным описанием и верификацией выявленных ее характеристик в исследовательских шаблонах.

Метод сбора информации при исследовании предметных областей был применен в период с 2002 по 2011 г. при разработке различных подсистем создаваемой автоматизированной системы управления сборочным производством автомобилей для производственного комплекса «АВТОТОР». Метод дал возможность сократить сроки и повысить качество исследований предметных областей сборочного производства автомобилей для проведения углубленного анализа с использованием методики исследования ПО, позволяющей отразить совокупность ее характеристик на одной объединяющей характеристике, выбранной перед проведением исследования, и методологий семейства IDEF, а также других нотаций. Созданная с применением данного метода сбора информации автоматизированная система управления производством автосборочного предприятия эффективно функционирует и выступает основным элементом управления производством.

Заключение

В работе представлен метод сбора информации на основе исследовательских шаблонов для описания предметных областей гибридных интеллектуальных систем. Данный метод позволяет зафиксировать совокупность характеристик ПО в

шаблоне для проведения дальнейших детальных исследований в стационарных условиях. Применение данного метода дает возможность сократить сроки и повысить качество исследований предметных областей, что было подтверждено на практике при описании предметной области сборочного производства автомобилей.

Список литературы

1. *Хетагуров Я. А.* Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ). М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015.

2. *Рудинский И.Д.* Технология проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления. М. : Горячая линия — Телеком, 2011.

3. *Смирнова Г.Н., Тельнов Ю.Ф.* Проектирование экономических информационных систем (ч. 1). М. : МЭСИ, 2004.

4. *Смирнова Г.Н., Сорокин А.А., Тельнов Ю.Ф.* Проектирование экономических информационных систем. М. : Финансы и статистика, 2003.

5. *Борзенков В.А.* Методика исследования предметных областей для разработки гетерогенных баз знаний // Материалы II Международного Поспеловского симпозиума «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы». Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. С. 59—67.

В.Н. Вагин, А.В. Суворов, О.Л. Моросин
ФГБОУ ВПО НИУ МЭИ, Москва, Россия
e-mail: vagin@appmat. ru

МЕТОДЫ НАХОЖДЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК ПРАВДОПОДОБНОСТИ АРГУМЕНТОВ

Введение

Большинство современных систем аргументации работает лишь с качественными оценками статусов аргументов — поражен аргумент или нет, в то время как ряд практических за-

© Вагин В.Н., Суворов А.В., Моросин О.Л., 2016

дач требует наличия механизма определения количественной оценки правдоподобности аргументов. Так, в задачах машинного обучения на основе обучающих выборок возможно нахождение оценок достоверности исходных данных, и оперирование не только качественной, но и количественной информацией позволит улучшить существующие результаты.

В данной работе будут рассмотрены известные методы обработки количественных оценок правдоподобности аргументов и основные проблемы каждого из методов.

Рассмотрим основные классы аргументационных систем: системы абстрактной аргументации [1] и системы аргументации, основанные на пересматриваемых рассуждений [2].

Абстрактные аргументационные системы, предложенные Дангом, формализуют аргументацию в виде ориентированного графа, вершины которого обозначают аргументы, а его дуги отображают бинарное отношение «атака». В абстрактных системах аргументации говорят, что аргумент A атакует аргумент B, если A является контраргументом для аргумента B. В таких системах не раскрывается, как аргументы взаимодействуют друг с другом, отношение атаки задается декларативно; также отсутствуют механизмы вывода новых аргументов. В разделе 1 будут рассмотрены способы обработки вероятностной информации о правдоподобности аргументов в системах абстрактной аргументации.

Аргументы в системах пересматриваемых рассуждений задаются как цепочки рассуждений, ведущих от посылок к искомому заключению, при этом каждый этап таких рассуждений может быть опровергнут. Пересмотр статусов аргументов возникает из-за возможности обнаружения конфликтов при поступлении новой информации или даже при новых выводах из существующих знаний, т. е. при поступлении новых знаний полученные ранее выводы могут оказаться недостоверными. Раздел 2 посвящен проблемам нахождения числовых оценок в таких системах.

1. Вероятности в системах абстрактной аргументации

Приведем основные определения теории абстрактной аргументации, предложенной Дангом [1]. *Графом аргументов* называется пара ($\mathbb{A}$, $\Re$), где $\mathbb{A} \equiv \{A_1, A_2, \ldots A_n\}$ — множество аргументов, n — количество аргументов в системе, а $\Re$ — бинарное отношение атаки на множестве $\mathbb{A}$ (т. е. $\Re \subseteq \mathbb{A} \times \mathbb{A}$). Элемент $A_i \in \mathbb{A}, 1 \leqslant i \leqslant n$ называется *аргументом*, и запись $A_i \Re A_j$ означает, что A_i *атакует аргумент* A_j. Пусть $\Gamma \subseteq \mathbb{A}$ — некоторое подмножество аргументов $\mathbb{A}$. Множество Γ *атакует* $A_j \in \mathbb{A}$, если существует аргумент $A_i \in \Gamma$ — такой, что A_i атакует A_j. Множество аргументов Γ *защищает от атак* $A_i \in \mathbb{A}$, если множество Γ атакует все аргументы $A_j \in \mathbb{A}$, атакующие A_i,. Под *приемлемостью* (*acceptability*) аргументов понимается механизм в системе аргументации, который позволяет определять, какие аргументы являются достоверными, т. е. каким аргументам стоит доверять, а каким нет.

Аргумент $a \in \mathbb{A}$ ***приемлем*** по отношению к множеству $S \subseteq \mathbb{A}$ аргументов тогда и только тогда, когда $\forall b \in \mathbb{A}\ (b \Re a \rightarrow \rightarrow \exists c \in S\ c \Re b)$, т. е. каждый аргумент $b \in \mathbb{A}$, атакующий аргумент $a \in S$, атакуется множеством S. Если данное условие выполняется, говорят, что S *защищает* a. Множество $S \subseteq \mathbb{A}$ аргументов не содержит конфликтов (далее будем называть такие множества *непротиворечивыми*) тогда и только тогда, когда $(\neg \exists a \in S)\ (\neg \exists b \in S)\ (a \Re b)$, т. е. нет таких a и b в S, что a атакует b. Множество $S \subseteq \mathbb{A}$ аргументов называется *приемлемым* тогда и только тогда, когда S — бесконфликтно и защищает все свои элементы.

Приемлемые множества аргументов в системах абстрактной аргументации называются *расширениями*. Множество $S \subseteq \mathbb{A}$ аргументов называется *полным расширением* тогда и только тогда, когда S — это приемлемое множество, в котором каждый аргумент, который защищает S, находится в S.

Графом вероятностей аргументов называется тройка <*A,R,P*>, где *A* — множество аргументов, *R* — множество связей между ними и *P* — функция вероятности каждого аргумента из *A* (*P:A*→[0,1]). Существует несколько способов задания вероятностной функции *P*. В простейшем случае ее можно определить как 1 для не вступающих в конфликт аргументов и как 0 для пораженных. Заданная таким образом модель будет в точности соответствовать классической системе аргументации с качественными статусами «поражен» и «не поражен». Рассмотрим способ присвоения вероятностей аргументам.

В ***групповом подходе*** [3] используется распределение вероятностей над подграфами аргументов исходных графов. Таким образом определяются приемлемые (с непротиворечивым распределением вероятностей) подмножества аргументов. Для аргумента *A* в графе *G* с функцией вероятности *P* считается, что *P(A)* — это вероятность того, что *A* существует в произвольном полном подграфе графа *G*, и (1 – *P*(*A*)) — вероятность того, что *A* не содержится в произвольном полном подграфе исходного графа *G*. Пусть *G* = <*A*, *R, P*> и *G′* = <*A′*, *R′, P′*> — графы вероятностей аргументов такие, что $G' \subseteq G$. *Вероятностью подграфа G′*, обозначаемой *p(G′)*, называется величина

$$(\prod_{A \in A'} P(A)) \times (\prod_{A \in A \setminus A'} (1 - P(A))).$$

Используя данную формулу, можно найти расширения с ненулевой вероятностью.

2. Степени обоснования в системах аргументации, основанных на пересматриваемых рассуждениях

Приведем основные определения и понятия теории аргументации, основанные на пересматриваемых рассуждениях. Подробное описание таких систем приводится в [4—6].

*Аргумент*ом будем называть пару, состоящую из множества посылок и заключения. Записывать такие пары будем в следующем виде: *p/X*, где *p* — заключение, а *X* — множество посылок. На иллюстрациях аргументы обозначаются овалами.

Множество всех аргументов обозначим как $\mathbb{A}$. Понятие конфликта — основа системы аргументации. Рассмотрим два типа конфликтов — *опровержение* и *подрыв* [2]. *Опровержение (rebutting)* — ситуация, когда некоторые аргументы опровергают заключения других аргументов. Опровержение является симметричной формой атаки. *Подрыв (undercutting)* — несимметричная форма атаки, когда один аргумент отрицает связь между посылками и заключением другого аргумента. Взаимосвязи аргументов, а именно отношения следования и атаки удобно отображать на *графе вывода*. Граф вывода — граф, показывающий взаимосвязи между аргументами и конфликты между ними. В системе аргументации на основе пересматриваемых рассуждений вводятся *пересматриваемые* и *подрывающие* правила вывода. *Пересматриваемые правила* — правила вывода, достоверность которых ставится под сомнение; записывать эти правила будем так: $M \mid\Rightarrow N$. *Подрывающие правила* — правила вывода, формализующие конфликт типа «поражение». Наличие этих правил означает, что имеются аргументы, поражающие связь между двумя другими аргументами, соединенными пересматриваемым следствием. Например, имеется аргумент E, подрывающий пересматриваемую связь $C \mid\Rightarrow D$ между аргументами C и D. Такие правила подрыва будем записывать в виде $E \Rightarrow (C @ D)$.

В задачах аргументации возникает вопрос о приемлемости того или иного предположения относительно заданных посылок. Ответ на него — всегда качественный, т. е. допустим или нет. Для некоторых задач требуется получить не только качественный ответ, но и количественный — насколько достоверен тот или иной аргумент. Для решения этой задачи в системах пересматриваемой аргументации применяют механизм степеней обоснования (*degrees of justification*), который является мерой правдоподобности аргументов [7; 8]. Степени обоснования будем обозначать функцией *Jus:* $\mathbb{A} \to [0,1]$. Если степень обоснования $Jus(A) = 0$, то говорят, что A — полностью пораженный аргумент; в случае, если $Jus(A) = 1$, — аргу-

мент A является полностью достоверным; в противных случаях, когда $0 < Jus(A) < 1$, говорят, что аргумент A_i достоверен (обоснован) с некоторой мерой уверенности.

Необходимо определить функцию $Jus(A)$ для вычисления любого из аргументов в графе вывода. Будем считать, что для изначальных аргументов эта величина является определенной. На значение этой функции оказывают влияние два фактора — дерево вывода аргумента (т. е. степень обоснования аргументов, которые использовались в выводе данного аргумента) и конфликты с другими аргументами.

Для удобства рассмотрим эти два фактора раздельно: $Jus_{anc}(A)$ — унаследованная степень обоснования и $Jus_{con}(A)$ — то, насколько конфликт подрывает обоснование аргумента. Унаследованная степень обоснования — это мера того, насколько обоснованы аргументы, участвующие в выводе аргумента A. Очевидно, что если для доказательства некоторого аргумента используются «сомнительные» аргументы, то достоверность доказываемого аргумента будет невысока. Предлагается использовать так называемый принцип «слабейшей связи» [7], который означает, что унаследованная степень обоснования некоторого аргумента A не может быть больше, чем степень обоснования самого «слабого» аргумента, участвовавшего в выводе этого аргумента A:

$$Jus_{anc}(A) = \min_{1 \le i \le n} \{Jus(Anc_i)\}, \qquad (1)$$

где $Anc = \{Anc_i\}$; $1 \leqslant i \leqslant n$ — множество аргументов Anc_i, участвовавших в выводе аргумента A; n — количество таких аргументов.

Отметим, что из формулы (1) следует: если производить вычисление степеней обоснования рекурсивно, начиная от исходно заданных аргументов, то можно искать минимум не из всех аргументов в базисе, а только на предыдущем шаге. Если при вычислении Jus_{anc} ищутся наиболее слабые аргументы, то при определении того, насколько конфликт уменьшает обос-

нования, используются наиболее сильные аргументы. Пусть A_{confl} — множество аргументов, вступающих в конфликт с A, $n = |A_{confl}|$, тогда

$$Jus_{con}(A) = \begin{cases} \max\limits_{1 \le i \le n} \left\{ Jus_{anc}\left(Aconfl_i\right) \right\}, n > 0 \\ 0 \quad \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

В формуле (2) используется Jus_{anc} для того, чтобы верно обрабатывать случаи, когда между аргументами есть конфликт типа «опровержение». Итак, окончательно:

$$Jus(A) = \begin{cases} Jus_{anc}(A) - Jus_{con}(A), \; Jus_{anc}(A) > Jus_{con}(A) \\ 0 \;\; \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Пример применения степеней обоснования будет приведен далее.

3. Пример работы системы аргументации

Приведем решение тестовой задачи, полученное в разрабатываемой системе аргументации. Имеется следующая задача:

> Предприниматель хочет вложить некоторую сумму в развивающийся бизнес и получить от этого доход. Есть компания CMP, которая занимается IT-бизнесом. По статистике, IT-рынок находится на подъеме и 75% IT-компаний показывают положительную динамику развития. Компания CMP занимается разработкой программного обеспечения под операционные системы семейства *Linux*. В России менее 10% пользователей *Linux* и, следовательно, спрос на продукцию будет невелик. Однако 80% производства компании направлено на международный рынок программного обеспечения для веб-серверов, которые в основном работают на *Linux*.

Запишем условия формально на языке ЛПППП.

A1. IT(CMP) justifiacation: 0,75; A2. под_Linux(CMP) justifiacation: 1; A3. рынок_сбыта(для_серверов) justifiacation: 0,8; A4. (∀x)(инвестировать(x)>доход); R1. (∀ x) (IT(x)) |=> (V x) рост_акций(x);

R2. (∀ x) (рост_акций(x) |=> инвестировать(x)); R3. (∀ x) (под_Linux(x) |=> плохой_спрос(x)); R4. (∀ x) (плохой_спрос(x) |=> ~инвестировать(x)); R5. (∀ x) рынок_сбыта(для_серверов) ==> ((под_Linux(x)) @ плохой_спрос(x)).

На рисунке приведен граф вывода для данной задачи.

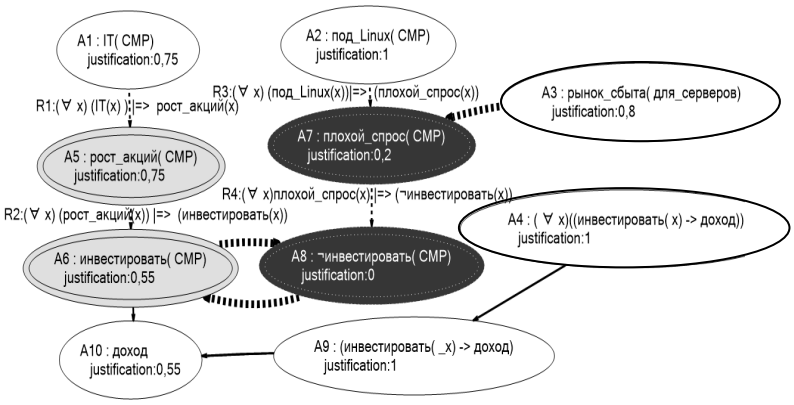


Рис. Граф вывода

Пунктирными стрелками показаны пересматриваемые следствия, жирными пунктирными — конфликты, серым цветом выделены подтвержденные аргументы, черным — пораженные. Полученный граф аргументов с вычисленными степенями обоснования можно анализировать с помощью методов абстрактной аргументации. В частности, можно определить полное расширение множества приемлемых аргументов с ненулевым распределением вероятности. Таким расширением будет подмножество $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_9, A_{10}\}$. Любые другие подмножества, включающие хотя бы один из аргументов $\{A_7, A_8\}$, не будут удовлетворять условиям полных расширений по Дангу, и, следовательно, данные аргументы нужно исключить из рассмотрения и считать полностью пораженными.

Заключение

Каждый из рассмотренных в статье методов определения числовых оценок правдоподобности аргументов имеет свои преимущества и недостатки. Вероятностный подход для абстрактных систем аргументации, безусловно, имеет большой научный интерес, но плохо применим для решения практических задач, так как абстрактная аргументация представляет собой статическую систему с декларативным заданием входных данных и без механизма вывода новых аргументов. Кроме того, назначение вероятностей всем анализируемым аргументам — весьма сложная в практическом плане задача, потому что часто исходная информация имеет нечеткий характер.

Система аргументации, основанная на пересматриваемых рассуждениях, оперирует аргументами, представленными произвольными формулами языка логики предикатов (не только хорновские дизъюнкты), обладая при этом механизмом обнаружения конфликтов, вывода новых аргументов, применения правил пересматриваемого вывода, что дает широкие возможности для моделирования различных задач, неразрешимых в терминах классической логики. Рассмотренный аппарат применения степеней обоснования позволяет решать задачу количественного сравнения правдоподобности аргументов. Однако предложенный механизм степеней обоснования обладает некоторыми недостатками: в частности, данный формализм не обеспечивает нормализации степеней обоснования, т. е. сумма степеней обоснования аргумента и контраргумента не равняется единице. Кроме того, для всех исходных аргументов степени обоснования должны быть априорно определены, что часто становится довольно сложной задачей.

Перспективным направлением разработки, на взгляд авторов, является применение аппарата нечеткой логики в системе пересматриваемой аргументации, что позволит качественно улучшить разрабатываемую систему и существенно расширить область ее применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-07-00862 и проектной части государственного задания №2.737.2014/К.

Список литературы

1. *Dung P.M.* On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games // Artificial Intelligence. 1995. P. 321—357.

2. *Pollock J.L.* How to Reason Defeasibly // Artificial Intelligence. 1992. Vol. 57. P. 1—42.

3. *Hunter A*. probabilistic approach to modelling uncertain logical arguments // International Journal of Approximate Reasoning. 2013. Vol. 54. P. 47—81.

4. *Besnard P., Hunter A*. Elements of Argumentation. Cambridge, MA : MIT Press, 2008.

5. *Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. 2-е изд., доп. и испр. М. : Физматлит, 2008.

6. *Моросин О.Л.* Аргументация с применением степеней обоснования в интеллектуальных системах // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. Т. 7. С. 142—152.

7. *Pollock J.L.* Defeasible reasoning with variable degrees of justification // Artificial Intelligence. Artificial Intelligence. 2001. Vol. 133. P. 233—282.

8. *Betz G.* On degrees of justification // Erkenntnis. 2012. Vol. 77, No. 2. P. 237—272.

Т.А. Гаврилова[1], Д.В. Кудрявцев[2], Л.О. Кокоулина[3]
Высшая школа менеджмента Санкт-Петербургского университета, Россия
e-mail: [1]gavrilova@gsom. pu. ru, [2]d.v. kudryavtsev@gsom. pu. ru, [3]l. kokoulina@gsom. pu. ru

ПРОЕКТ ИНС-ПОРТ: РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ ПОРТАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ

Проект «Интеллектуальные Сервисы поддержки ПОРТалов знаний на основе онтологий (ИнС-ПОРТ)» ориентирован на решение теоретических и практических проблем по формированию систем интеллектуальных сервисов поддержки жизненного цикла портала знаний — от проектирования до промышленной эксплуатации.

© Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Кокоулина Л.О., 2016

Цель проекта — создание методологии и технологии, которые позволяют разрабатывать и тиражировать порталы знаний предприятий, научных проектов, учебно-методических центров и др. Существующая методология ПРОТЕСИС (ПРОект-ТЕхнология-СИСтема) ориентирована на работу с онтологиями предметных областей на основе структурно-визуального подхода и позволяет объединить современные представления об интеллектуальных сервисах с теорией создания и поддержки систем управления знаниями (СУЗ).

Разработка новой методологии проектирования корпоративных порталов основана на системном подходе с использованием принципов онтологического моделирования. Также в рамках проекта сформированы регламенты поддержки и обновления СУЗ.

1. Некоторые результаты эмпирических исследований инструментов УЗ

Управление знаниями (УЗ) традиционно осуществляется с помощью следующих компонент: информационные технологии, организационные процессы и структуры, корпоративная культура, техническая инфраструктура, правовые инструменты. Однако кроме компонент УЗ полезно обратить внимание на его комплексные инструменты, которые, как правило, складываются из разных компонент УЗ.

Сформирован следующий базовый набор современных комплексных инструментов УЗ (расширение работы [1]): базы знаний, сообщества практиков, извлеченные уроки («разбор полетов»), социальные сети экспертов, банк идей, сервис вопросов и ответов, проведение семинаров и конференций, наставничество. Более подробный анализ использования комплексных инструментов УЗ был проведен на выборке организаций из нефтегазового, образовательного и ИТ-секторов.

Среди основных тенденций развития инструментов УЗ в нефтегазовых компаниях выделена склонность к развитию максимально комплексных инструментов, ориентированных

на гибкость и динамичность инновационной деятельности [2]. Это достигается, в частности, с помощью поддержки активного обмена знаниями между сотрудниками.

Анализ инструментов УЗ в учреждениях высшего профессионального образования как в Российской Федерации, так и за рубежом показал, что существуют различия в восприятии систем УЗ, связанные с особенностями национальных деловых культур [3—5]. Кроме того, результаты исследования показали, что одним из значимых направлений развития инструментов УЗ в образовательной сфере является интеграция различных по назначению и целевым аудиториям пользователей комплексных инструментов УЗ (например, интеграция автоматизированной верстки компетентностно-ориентированных учебных планов и системы *Blackboard*).

Отличительная черта инструментов УЗ, используемых в компаниях-производителях ПО (на примере компании «Яндекс»), — высокая степень интеграции социальных сетей и wiki-систем баз данных, ссылки на которые могут интерактивно использоваться в процессе коммуникации сотрудников. Такие средства ориентированы на создание относительно «плоской» и «неформальной» организационной структуры для стимулирования горизонтальных коммуникаций и инициатив с возможностью быстрой обратной связи от руководства. Для эффективной работы с недостаточно систематизированной и иногда дублирующейся информацией требуются комплексные инструменты управления знаниями, способные к четкому структурированию данных, информации и знаний и нацеленные на управление большими массивами количественно и качественно разнородных знаний.

2. О модели принятия решений по вопросам проектирования и создания СУЗ

Модель принятия решений по вопросам проектирования и разработки СУЗ позволяет на основе ряда входных параметров, характеризующих предприятие и текущее состояние УЗ в

нем, дать рекомендации в части стратегических вопросов проектирования СУЗ — определить состав и композицию инструментов УЗ. Аудит, или диагностика знаний, — начальный этап любого проекта по созданию СУЗ — позволяет выяснить стратегию компании, существующие здесь виды деятельности и процессы, состав ключевых знаний, уровень зрелости и т. д. Далее компания может сформировать стратегию УЗ и принять ряд решений в части архитектуры СУЗ.

Таким образом, в рамках исследования были определены входные (ключевые факторы) и выходные (рекомендации) параметры модели принятия решений по вопросам проектирования и разработки СУЗ. Также были идентифицированы примеры, описывающие функциональную структуру (логику рассуждений) модели принятия решений. Полученные результаты основываются на обобщении экспертных знаний и мирового опыта (например, [6]), а также на анализе опыта успешных внедрений СУЗ.

3. Разработка архитектуры прототипа интеллектуального сервиса поддержки проектирования СУЗ

Проектирование информационных систем на основе архитектурного подхода предполагает создание визуальных многоаспектных моделей предприятия и его ИТ-архитектуры. Для создания таких моделей используются специальные языки моделирования, например *Archimate* (The Open Group, 2012), в программном инструменте Archi (примеры моделей архитектуры представлены в [7]).

Комплексные инструменты УЗ могут рассматриваться как бизнес-сервисы УЗ. В соответствии с сервис-ориентированным подходом [8] такие бизнес-сервисы основаны на определенных организационных процессах и механизмах (например, системе мотивации), а также используют разнообразные программные сервисы. Предложенный модульный подход позволяет, с одной стороны, обеспечить эффективность за счет возможности оптимизации работы отдельных сервисов, а с дру-

гой — достичь гибкости за счет быстрой сборки новых сервисов путем комбинирования существующих (подобно блокам конструктора «Лего»).

В рамках работы проведены формализации и систематизации «строительных блоков» корпоративных порталов знаний — инструментов работы с корпоративными онтологиями, задач и методов онтологического инжиниринга, типовой структуры (информационной архитектуры) корпоративной онтологической памяти. Соединение вышеуказанных «строительных блоков» планируется реализовать с помощью системы интеллектуальных сервисов, первичная классификация которых описана в работе [9].

Поскольку проектирование СУЗ (состоящей из ИТ- и организационных элементов) можно рассматривать как часть проектирования архитектуры предприятия, интеллектуальный сервис поддержки проектирования СУЗ будет дополнять функциональность стандартных инструментов управления архитектурой предприятия [7; 10], в которых существуют базовые средства для работы с каталогами (справочниками) сервисов и «строительными блоками».

Проведенное в рамках проекта формирование каталогов (справочников) «строительных блоков» для проектирования порталов знаний производилось на основе анализа существующих СУЗ, обследований компаний, занимающихся управлением знаниями, вторичных источников информации и экспертного опыта команды проекта.

Заключение

Первый этап — «ПРОект» (2014 г.) — был посвящен анализу проблематики состояния исследований в области корпоративных порталов знаний на основе онтологий и разработке методологии проектирования интеллектуальных сервисов (ИнС) для их обслуживания. На втором этапе — «ТЕхно» (2015 г.) — рассматривались основные существующие решения в области проектировании и реализации систем управле-

нии знаний и порталов знаний в организациях. В ходе работы использовались методы системного и контекстного анализа, критический анализ литературы, а также методы онтологического инжиниринга [11—14].

Среди результатов, полученных в рамках проекта, отметим следующие:

— предложена классификация комплексных инструментов УЗ на основе эмпирического исследования российских организаций;

— проведена систематизация информационных ресурсов для разработки структуры корпоративной онтологической памяти;

— предложены классификации инструментов работы с корпоративными онтологиями;

— разработана модель принятия решений по вопросам проектирования и разработки СУЗ;

— предложена архитектура прототипа интеллектуального сервиса поддержки проектирования СУЗ, помогающего в выборе и компоновке программного и информационного обеспечения;

— сформированы каталоги (справочники) «строительных блоков» для проектирования корпоративных порталов знаний.

Таким образом, исследования, проведенные в рамках проекта ИнС-ПОРТ, представляют оригинальные результаты и предлагают методы, востребованные во многих компаниях со зрелым уровнем понимания важности задач управления знаниями.

Проект поддержан грантом РФФИ 14-07-00294.

Список литературы

1. *Knowledge* management tools and techniques manual / R. Young (ed.). Asian Productivity Organization, 2010.

2. *Кудрявцев Д. В., Снеткова А. Ю.* Комплексные инструменты управления знаниями и отечественная практика их применения // III Международная научно-практическая конференция «Управленческие науки в современном мире», 1—2 декабря 2015 г., Москва (в печати).

3. *Благов Е. Ю., Боголюбов П. П.* Конструктная валидность «Единой теории принятия и использования технологии» в российских условиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. Менеджмент. 2012. №4. С. 101—125.

4. *Simeonova B., Bogolyubov P., Blagov E.* Use and Acceptance of Learning Platforms Within Universities // Proceedings of the 14th European Conference in Knowledge Management (ECKM). 2013. P. 642—652.

5. *Blagov E. Yu., Gilenko E.V., Bashlykova A.S.* Cultural dimension values differentials influence on the cross-cultural group performance: a case of cross-cultural student groups at GSOM SPbU // Proceedings of the GSOM Emerging Markets Conference 2015: Business and Government Perspectives. 2015. P. 63—82.

6. *Barnes S., Milton N.* Designing a Successful KM Strategy: A Guide for the Knowledge Management Professional. Medford, N. J. : Information Today, 2014.

7. *Кудрявцев Д.В., Арзуманян М.Ю., Григорьев Л.Ю.* Технологии бизнес-инжиниринга : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014.

8. *Spohrer J., Maglio P., Caswell O., Largo V.* The service system is the basic abstraction of service science // Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences. 2008. P. 1530—1605.

9. *Гаврилова Т. А. Власов С. А.* Интеллектуальные сервисы поддержки порталов знаний // Труды 2-го Международного Поспеловского симпозиума «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы ГИСИС-2014». Светлогорск, 2014. С. 94—100.

10. *Matthes F., Buckl S., Leitel J., & Schweda C. M.* Enterprise architecture management tool survey 2008. Techn. Univ. München, 2008.

11. *Gavrilova T., Strakhovich E., Leshcheva I.* Ontologies for Project Management Teaching // Proceedings of the 18th International Conference on Computers in Education. Putrajaya. Asia-Pacific Society for Computers in Education, 2010. P. 7—9.

12. *Gavrilova T., Leshcheva I., Strakhovich E.* Gestalt principles of creating learning business ontologies for knowledge codification // Knowledge Management Research & Practice. 2015. Vol. 13, № 4. P. 418—428.

13. *Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Лещев Д.В.* Использование онтологий в качестве дидактического средства // Искусственный интеллект. 2000. №3. С. 34—39.

14. *Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Страхович Э.В.* Об использовании визуальных концептуальных моделей в преподавании // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. Менеджмент. 2011. №4. С. 125—151.

М. А. Зотов[1], Д. Г. Левенец[2], А. В. Иванова[3], А. Л. Тулупьев[4]
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Россия
e-mail: [1]zotov1994@mail. ru, [2]daniel-levenets@yandex. ru,
[3]s. tigma@yandex. ru, [4]alexander. tulupyev@gmail. com

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СЛОЖНОСТЬ СИНТЕЗА ВТОРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ: ДВУХФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ

Введение

Графы смежности интенсивно используются в алгебраических байесовских сетях в качестве вторичной структуры, так как некоторые алгоритмы локального и глобального вывода, использующие рекуррентный подход, требуют, чтобы вторичной структурой был ациклический минимальный граф смежности. Предложенная структура сложна в построении, и одной из главных проблем является оптимизация необходимых затрат памяти и времени для ее машинного обучения. Так, машинное обучение байесовских сетей доверия проводится с помощью прямого и жадного алгоритмов, время работы которых существенно зависит от свойств параметров пространства входных данных, а значит, изучение и выявление этих свойств позволит сделать большой шаг в сторону ускорения генерации вторичной структуры. Об исследовании названных свойств и пойдет речь в настоящей статье.

В работах [1; 2] были подробно рассмотрены статистические оценки сложностей указанных алгоритмов в зависимости от количества вершин во входном наборе, однако актуальной задачей стало изучение зависимостей времени генерации вторичной структуры от наличия в этом наборе вершин различных порядков, а также от мощности алфавита, по которому синтезируется данный набор. *Цель настоящей работы* состоит, во-первых, в проведении и обобщении результатов вычис-

© Зотов М. А., Левенец Д. Г., Иванова А. В., Тулупьев А. Л., 2016

лительных экспериментов, позволяющих сравнить скорости синтеза вторичной структуры в зависимости от свойств входного набора данных, и, во-вторых, в демонстрации полученных результатов в виде трехмерного графика для визуального наблюдения скрытых закономерностей генерации вторичной структуры.

1. Определения, обозначения и методы

Воспользуемся системой терминов и обозначений, сложившихся в [3—5]. Пусть задан конечный алфавит символов A, а непустые множества символов (без повторов) — слова — рассматриваются как возможные значения нагрузок вершин графов и их ребер. Пусть имеется набор вершин V и такие нагрузки, причем W_u является нагрузкой для вершины u.

Назовем неориентированный граф $G = \langle V, E \rangle$ *графом смежности*, если он удовлетворяет следующим условиям:

1) $\forall\, u,v \in V$ таких, что существует некоторый путь P в графе G такой, что для каждой вершины $s \in P$ справедливо утверждение $W_u \cap W_u \subseteq W_s$;

2) $\forall \langle u,v \rangle \in E$.

Граф смежности с минимальным числом ребер мы будем называть *минимальным графом смежности*.

2. Эмпирическая оценка относительных сложностей алгоритмов

В статьях [3; 5—7] подробно рассматривались алгоритмы синтеза вторичной структуры алгебраических байесовских сетей минимального графа смежности, в частности прямой и жадный алгоритмы. Были получены результаты [1; 2; 6; 7], которые свидетельствуют о том, что прямой алгоритм имеет преимущество перед жадным в рассмотренном пространстве графов. Отметим, что время синтеза минимального графа смежности зависит (в числе прочего) и от свойств параметров пространства, в котором осуществляется такой синтез. Подобное пространство зависит от значения следующих параметров:

1) мощность алфавита;

2) распределение нагрузок вершин (наличие выбросов);

3) мощность нагрузок вершин;

4) число вершин в графе смежности.

В статьях [2; 7] активно варьировались параметры 2—4 при фиксированном значении параметра 1 — мощности алфавита. Для того чтобы построить оценки сложностей при варьируемой мощности алфавита, был использован несколько видоизмененный алгоритм `Experiment` из статьи [6], принимающий, в отличие от предыдущей версии алгоритма, ссылки на алгоритмы синтеза минимального графа смежности, по которым необходимо вычислить относительные времена работы. Для организации вычислений с варьируемой мощностью алфавита был разработан алгоритм `VariabledAlphabet` (листинг 1).

Листинг 1.

```
input: setOfN, alphabets, distributions, algorithmFirst, algorithmSecond
output: statistics
1:  function VariabledAlphabet
2:  ratioOfTimes =    ∅
3:  statisticsForAlphabets = ∅
4:  foreach(alphabet in alphabets)
5:    statistics = ∅
6:    foreach(N in setOfN)
7:      experiment = Experiment(N, alphabet,
              distributions, algorithmFirst,
                          algorithmSecond)
8:      statistics.Add(experiment)
9:    statisticsForAlphabets.Add(statistics)
10: return statisticsForAlphabets
```

Алгоритм принимает на вход множество мощностей вершин графа, алфавиты, по которым осуществляется синтез минимального графа смежности, распределения, а также два конкурирующих между собой алгоритма (в нашем случае `algorithmFirst` = **Greedy**, а `algorithmSecond` = **Straight**). В строках 6—8 организован цикл, в котором вычисляются ста-

тистики для заданного алфавита alphabet. После отработки цикла (строки 6—8) в переменную `statisticsForAlphabets` будут внесены (строка 9) статистики для значений всех нагрузок вершин при фиксированном алфавите. После окончания работы цикла (строки 4—9) в переменной `statisticsForAlphabets` будут содержаться данные о значениях относительного времени работы двух конкурирующих алгоритмов для всех значений алфавитов вычисленных на всех мощностях нагрузок вершин. Из полученных на выходе данных в настоящей статье была извлечена статистика *среднее геометрическое*.

3. Визуализация

Вычислительные эксперименты, представленные в предыдущем разделе, были визуализированы в виде трехмерных графиков, где на горизонтальных осях откладывались значения мощностей алфавита и числа вершин, на вертикальной оси — величина статистики. Результаты статистических экспериментов показаны на рисунках 1—4.

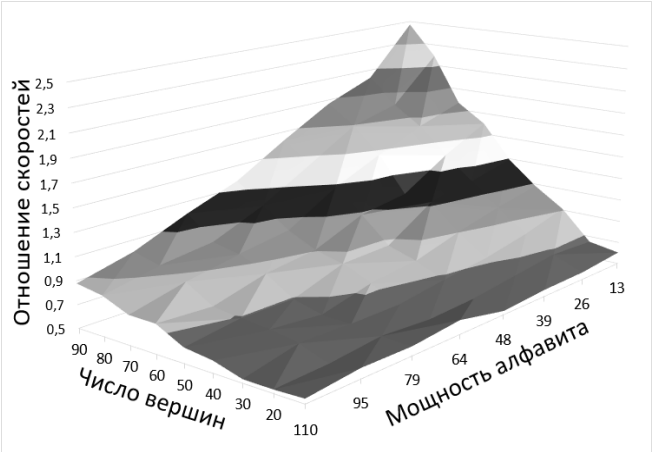


Рис. 1. 70% вершин — 2—4-го порядков, 20% — 5—7-го порядков, 10% — 8—10-го порядков

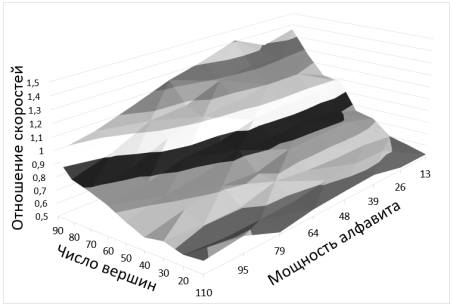


Рис. 2. 60 % вершин — 2—4-го порядков, 20 % — 5—7-го порядков, 15 % — 8—10-го порядков, 5 % — 11—13-го порядков

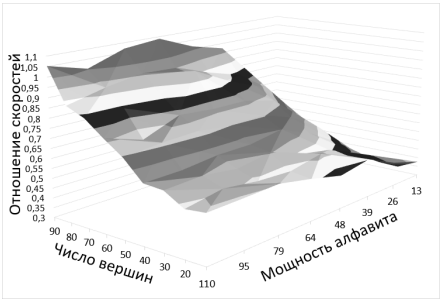


Рис. 3. 30 % вершин — 2—4-го порядков, 35 % — 5—7-го порядков, 25 % — 8—10-го порядков, 10 % — 11—13-го порядков

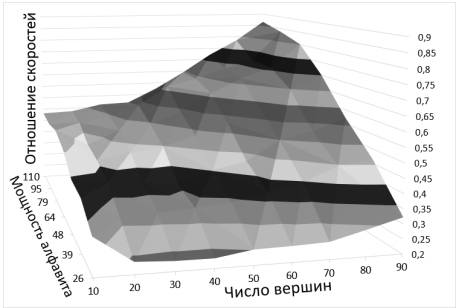


Рис. 4. 5 % вершин — 2—4-го порядков, 30 % — 5—7-го порядков, 35 % — 8—10-го порядков, 30 % — 11—13-го порядков

Анализ рисунков позволяет сделать вывод, что с увеличением числа вершин высокого порядка прямой алгоритм синтеза минимального графа смежности теряет свое преимущество. Стоит отметить, что чем больше алфавит, тем менее значительно преимущество прямого алгоритма. Еще один вывод — жадный алгоритм работает значительно быстрее прямого при небольших алфавитах с любыми мощностями вершин из диапазона 10—90 либо при любой мощности алфавита из диапазона 13—110, но при небольших мощностях (10—40) вершин графа.

Заключение

В настоящей статье была проанализирована относительная сложность двух конкурирующих алгоритмов синтеза минимального графа смежности на различных мощностях алфавитов. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что прямой алгоритм работает быстрее жадного при незначительных выбросах и низких порядках нагрузок вершин. Увеличение числа выбросов, равно как и увеличение порядков нагрузок вершин, нивелирует преимущество прямого алгоритма, а при подавляющем большинстве высоких порядков нагрузок вершин жадный алгоритм становится более целесообразным в применении. Разработан алгоритм VariabledAlphabet, позволяющий выполнять эксперименты по получению статистик над разными наборами алфавитов.

Статья содержит материалы исследований, частично поддержанных грантом РФФИ 15-01-09001 — «Комбинированный логико-вероятностный графический подход к представлению и обработке систем знаний с неопределенностью: алгебраические байесовские сети и родственные модели».

Список литературы

1. *Зотов М.А., Тулупьев А.Л., Сироткин А.Л.* Статистические оценки сложности прямого и жадного алгоритмов синтеза вторичной структуры алгебраических байесовских сетей // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2015. Т. 10, №1. С. 75—91.

2. *Левенец Д.Г., Зотов М.А., Тулупьев А.Л.* Синтез вторичной структуры алгебраических байесовских сетей: методика статистической оценки сложности и компаративный анализ прямого и жадного алгоритмов // Компьютерные инструменты в образовании. 2015. №1. С. 3—16.

3. *Опарин В.В., Тулупьев А.Л.* Синтез графа смежности с минимальным числом ребер: формализация алгоритма и анализ его корректности // Труды СПИИРАН. 2009. Вып. 11. С. 142—157.

4. *Тулупьев А.Л.* Алгебраические байесовские сети: глобальный логико-вероятностный вывод в деревьях смежности : учеб. пособие. СПб. : Изд-во СпбГУ ; Анатолия, 2007. (Сер. Элементы мягких вычислений).

5. *Фильченков А.А.* Синтез графов смежности в машинном обучении глобальных структур алгебраических байесовских сетей : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Самара, 2013.

6. *Зотов М.А., Левенец Д.Г., Тулупьев А.Л., Золотин А.А.* Синтез вторичной структуры алгебраических байесовских сетей: инкрементальный алгоритм и статистическая оценка его сложности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16, №1. С. 122—132.

7. *Зотов М.А., Тулупьев А.Л.* Инкрементальный алгоритм синтеза минимального графа смежности // Компьютерные инструменты в образовании. 2015. №6. С. 3—18.

В.С. Мошкин[1], Н.Г. Ярушкина[2]

Ульяновский государственный технический университет, Россия

e-mail: [1]postforvadim@yandex. ru, [2]jng@ulstu. ru

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКИХ ОНТОЛОГИЙ И БАЗЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ЕДИНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

При решении сложных задач в области автоматизированного проектирования пользователь должен получать всестороннюю поддержку со стороны системы, имея возможность выбо-

© Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г., 2016

ра решения не только с помощью экспертных знаний, хранящихся в базе системы, но и с учетом опыта решения данной задачи специалистами в прошлом. Такой опыт может быть формализован в виде набора прецедентов, которые должны обрабатываться и учитываться в рамках решения задачи параллельно основному алгоритму.

Согласно [1], рассуждения по прецедентам (case-based reasoning — CBR) — это метод формирования умозаключений, опирающийся не на логический вывод от исходных посылок (логические рассуждения), а на поиск и анализ случаев формирования подобных умозаключений в прошлом.

С точки зрения решения задач рассуждения по прецедентам — это метод получения решения путем поиска подобных проблемных ситуаций в памяти, хранящей прошлый опыт решения задач, и адаптации найденных решений к новым условиям. Применение CBR для решения задач оправдано в случае выполнения следующих условий, касающихся природы прикладной области.

1. Подобные задачи должны иметь подобные решения (принцип регулярности). В этом случае соответствующий накопленный опыт может служить отправной точкой процесса поиска решения для новых подобных задач.

2. Виды задач, с которыми сталкивается решатель, должны иметь тенденцию к повторению. Это условие гарантирует, что для многих проблем в будущем можно найти аналог в прошлом опыте [2; 3].

Существует аналогия между системами, основанными на правилах и прецедентах. И те и другие необходимо каким-то образом индексировать, чтобы обеспечить эффективное извлечение. И те и другие выбираются в результате сопоставления, причем выбор и ранжирование производятся на основе знаний, хранящихся в фоновых структурах, наиболее универсальными из которых являются онтологии [4].

1. Формальная модель системы вывода, основанной на анализе прецедентов

К основным преимуществам рассуждений по прецедентам можно отнести: отсутствие необходимости полного и углубленного рассмотрения знаний о конкретной предметной области; возможность напрямую использовать опыт, накопленный системой, без интенсивного привлечения эксперта в той или иной предметной области; возможность применения эвристик, повышающих эффективность решения задач [5].

Формальная модель системы вывода, основанного на прецедентах, может быть представлена в виде упорядоченной тройки:

$$CBR = \{Cases, I, S_{CASE}\},$$

где *Cases* — база прецедентов; *I* — онтология предметной области (нечеткая); S_{CASE} — алгоритм поиска подходящего прецедента.

Структура прецедента может быть представлена в следующем виде:

$$Case=\{Index_{CASE}, D(Index_{CASE}), Eff\,(D(Index_{CASE}))\},$$

где $Index_{CASE}$ — индекс прецедента, т. е. описание начальной ситуации; $D(Index_{CASE})$ — множество решений поставленной задачи; $Eff\,(D(Index_{CASE}))$ — множество оценок эффективности принятого решения задачи.

Так как прецеденты, в отличие от правил, оперируют не переменными, а конкретными объектами классов, а также значениями свойств этих объектов, то начальная ситуация описывается следующим множеством:

$$Index_{CASE} = \{ I_f, P_f \},$$

где I_f — множество объектов классов онтологии; P_f — множество значений свойств соответствующих объектов [6].

Аналогична и модель решения задачи: решением является объект вспомогательного класса «Рекомендации» разработан-

ной онтологии, который в качестве вывода в процессе работы алгоритма выдает лингвистическое значение свойства типа данных (DatatypeProperty) «имеетОписание» выбранного объекта класса «Рекомендации».

2. Модификация алгоритма логического вывода с использованием прецедентов

Для внесения в базу знаний начального набора прецедентов может использоваться универсальный редактор OWL-онтологии Protégé 4.x. Данная программная система предполагает возможность представления знаний в форме:

— нечетких онтологий (с использованием FuzzyOWL Plugin);

— SWRL-правил;

— набора прецедентов в OWL-формате [7].

Для обработки прецедентов в OWL-формате в настоящее время используется java-фреймворк *jColibri*. Данный набор библиотек является бесплатным и свободно распространяемым. Корректный анализ прецедентов посредством использования фреймворка *jColibri* предполагает необходимость создания в OWL-онтологии трех базовых классов:

— CBR-CASE — класс, содержащий экземпляры прецедентов;

— CBR-DESCRIPTION — класс, описывающий ограничения, накладываемые на прецеденты;

— CBR-INDEX — хранит структуру прецедента, т. е. классы-потомки и их экземпляры, участвующие в процессе поиска подходящего прецедента [8].

Перечисленные вспомогательные классы онтологии напрямую согласуются с моделью вывода по прецедентам.

Главная особенность модифицированного алгоритма вывода рекомендаций — проведение параллельного и независимого логического вывода результатов анализа на основе базы правил и базы прецедентов.

Помимо этого, наличие базы прецедентов позволяет внести элемент обучаемости данного алгоритма (рис. 1).

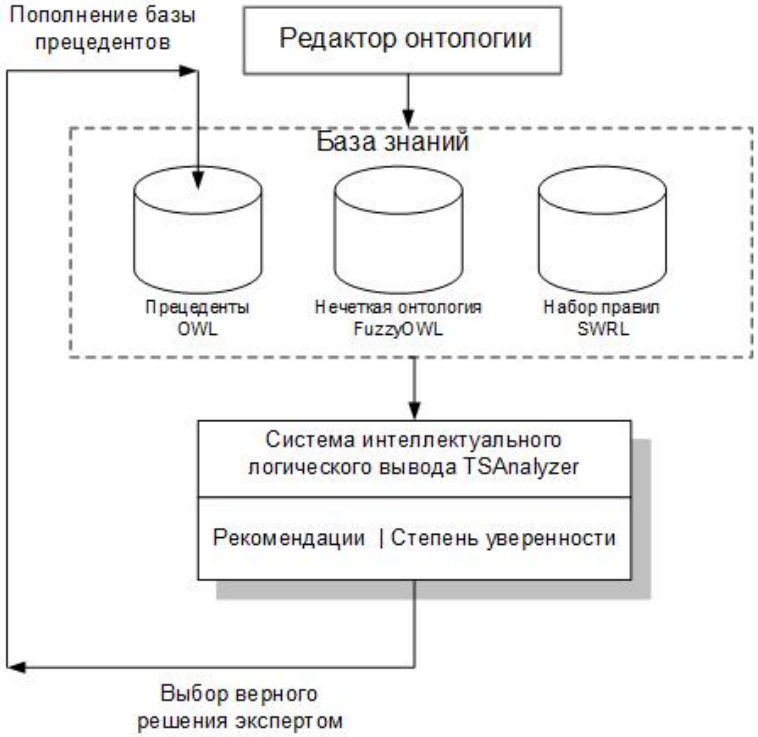


Рис. 1. Схема алгоритма формирования базы прецедентов

Главным преимуществом алгоритма формирования базы прецедентов стала возможность выбора пользователем решения, которое оказалось верным для данной задачи.

Решение, полученное в результате логического вывода на основе базы продукционных правил и выбранное пользователем в качестве правильного, будет занесено в базу прецедентов с исходными условиями задачи. Главное окно системы, реализующей данный алгоритм, представлено на рисунке 2.

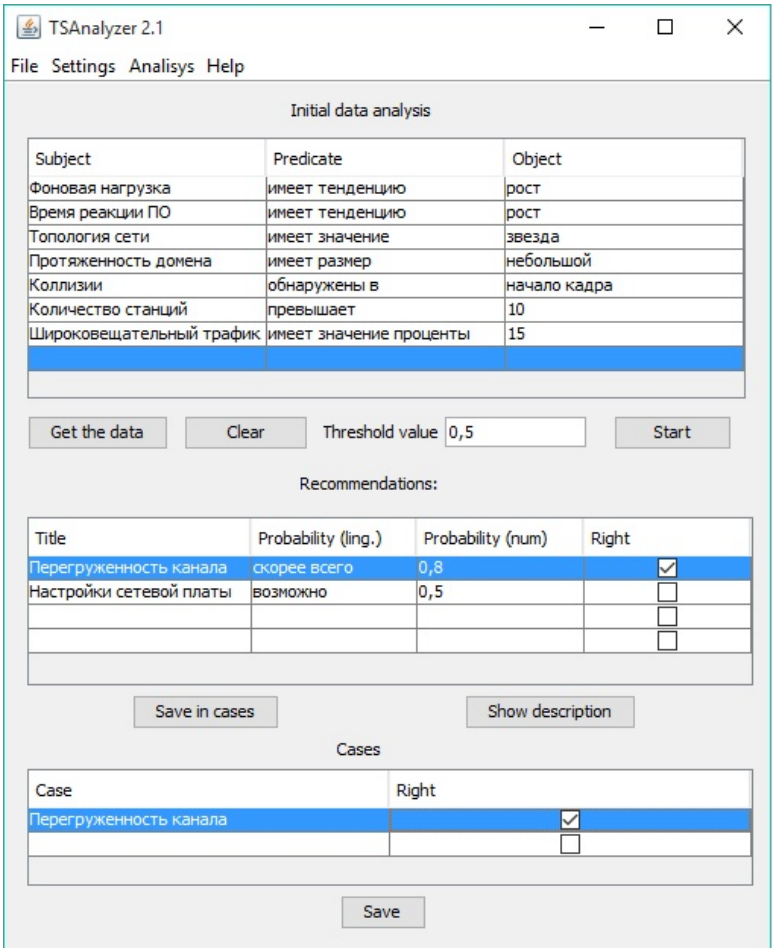


Рис. 2. Главное окно системы TSAnalyzer 2.1

В результате сохранения верного решения экспертом при решении аналогичной задачи в следующий раз пользователь получит эту рекомендацию в качестве априорной, т. е. появившейся на основе анализа опыта решения подобной задачи.

3. Анализ результатов экспериментов

С целью сравнения методики взаимодействия онтологического анализа и механизмов логического вывода на основе четкой и нечеткой онтологии проведен ряд экспериментов, в рамках которых были смоделированы возможные проблемные ситуации, возникающие в процессе работы локальной вычислительной сети при искусственном повышении загрузки каналов связи.

Объектом для проводимых экспериментов стала ЛВС центра разработки электронных мультимедиа технологий (ЦРЭМТ) Ульяновского государственного технического университета. Сравнительная характеристика методик логического вывода в процессе моделирования проблемных ситуаций работы ЛВС представлена в таблице.

Сравнение методик логического вывода знаний (FuzzyOWL + SWRL и CBR + FuzzyOWL)

Партия экспериментов	FuzzyOWL + SWRL			Выбор одного верного решения (CBR)
	Нет решений	Несколько решений	Одно верное решение	
1 (1—10)	1	8	1	1
2 (11—20)	—	9	1	3
3 (21—30)	—	8	2	4

Как видно из результатов, с каждой следующей партией экспериментов вывод правильного решения на основе прецедентов становится чаще, так как система проходит обучение благодаря внесению верных решений в CBR-базу. Несмотря на то что включение нечеткости в описание предметной области значительно снижает риски потери возможных результатов работы блока логического вывода и увеличивает гибкость процесса вывода, наличие большого количества вариантов решения задачи не дает пользователю возможности в полной мере положиться на какой-либо из предложенных вариантов.

В этом случае методика, позволяющая получать конкретное решение, основанное на практическом опыте предыдущих пользователей, решавших в прошлом аналогичную задачу (CBR), является альтернативой, восполняющей недостатки алгоритма, базирующегося на интеграции FuzzyOWL и SWRL [9].

Заключение

Таким образом, исходя из результатов проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что предложенный в данной работе модифицированный алгоритм логического вывода с использованием в качестве базы знаний нечеткой FuzzyOWL-онтологии предметной области, набора продукционных правил, а также включающий в себя процесс анализа прецедентов, позволяет:

— обеспечить получение пользователем возможности принятия решений как с учетом анализа закономерностей конкретной области, так и на основании опыта пользователей, уже сталкивавшихся с подобными задачами;

— обеспечить возможность обучаемости системы за счет динамического формирования базы прецедентов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания №2014/232 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности Минобрнауки России по проекту «Разработка нового подхода к интеллектуальному анализу слабоструктурированных информационных ресурсов».

Список литературы

1. *Case-Based* Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions / D. B. Leake (ed.). Menlo Park, CA : AAAI Press/MIT Press, 1996.

2. *Pal S. K., Shiu S. C. K.* Foundations of Soft Case-Based Reasoning. New Jersey : Wiley, 2004.

3. *Perfilieva I., Yarushkina N., Afanasieva T., Romanov A.* Time series analysis using soft computing methods // International Journal of General Systems. 2013. Vol. 42(6). P. 687—705.

4. *Ярушкина Н.Г.* Гибридные системы, основанные на мягких вычислениях: определение, архитектура, возможности // Программные продукты и системы. 2002. №3. С. 19—22.

5. *Дворянкин А.М., Сипливая М.Б., Жукова И.Г. и др.* Интеграция рассуждений по прецедентам и онтологии в интеллектуальной системе поддержки инженерного анализа в области контактной механики // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. №4, Т. 2. С. 90—94.

6. *Aamodt A., Plaza E.* Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches // Communications. 1994. №7. P. 39—59.

7. *Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г.* Методики построения нечетких онтологий сложных предметных областей // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015) : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19—21 февраля 2015 г.) / отв. ред. В.В. Голенков. Минск : БГУИР, 2015. С. 401—406.

8. *Kolodner J.L.* Case-Based Reasoning. Los Altos, CA : Morgan Kaufrnann, 1993.

9. *Ярушкина Н.Г., Мошкин В.С.* Применение алгоритма логического вывода на основе FuzzyOWL-онтологии // Радиотехника. 2015. №6. С. 68—72.

А.В. Мышев

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ — Обнинский институт атомной энергетики, Россия, e-mail: mishev@iate. obninsk. ru

ТЕХНОЛОГИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПОСТРОЕНИЯ РЕШЕНИЙ РАЗМЫТЫХ ЗАДАЧ НА ВИРТУАЛЬНЫХ РЕШЕТКАХ

Новые парадигмы компьютерной математики и вычислительного интеллекта в реалиях тенденций их современной конъюктуры связаны, с одной стороны, с построением новых теорий разработки и реализации моделей алгоритмов и процедур вычислительных технологий когнитивного компьютерного моделирования размытых задач в условиях модельной и алгоритмической замкнутости, ограничений среды вычислений, обмена (энергией и информацией) и информационной неопределенности. А с другой — с созданием (осуществлени-

© Мышев А.В., 2016

ем) новых форм компьютинга, когда взаимодействие объектов среды вычислений определяется механизмом виртуальной *апликации* в информационной среде систем виртуальной реальности. В этом случае формализм среды вычислений предполагает нетрадиционный подход построения логических схем алгоритмов и процедур вычислительных технологий моделирования размытых задач [1; 2].

Технологии вычислительного интеллекта для математического и компьютерного моделирования дискретизированных задач в среде вычислений любой вычислительной системы, которые реализуются в обозначенных выше условиях, определяют эти задачи как *размытые*. В чем же тогда состоит основная посылка содержательного и смыслового значения понятия «размытая задача» как базового атрибута среды вычислений? Основная посылка в этом случае заключается в том, что:

1) формализм алгоритмитики среды вычислений оперирует терминами и понятиями информационной динамики объектов среды вычислений, а в традиционных схемах построения вычислительных экспериментов такие атрибуты отсутствуют;

2) среда информационного взаимодействия объектов компьютерных процессов в вычислительных технологиях моделирования включает такие атрибуты-посредники, как: виртуальная алгоритмическая переменная, операторы взаимодействия на виртуальных решетках, информационная система координат привязки и поверки результатов вычислений (промежуточных и конечных), логическая виртуальная структура в адресном пространстве ограниченной памяти вычислительной системы и другие, которые являются компонентами и атрибутами среды вычислений.

Следует отметить, что онтология предметной области и методология построения традиционных логических схем вычислительных технологий математического моделирования не определяют различие между вычисляемой и вычисленной величинами. А это различие имеет принципиальное и фундаментальное значение в методологии разработки логических схем и моделей алгоритмов и процедур технологий моделирования дискретизированных задач в среде вычислений и осуществле-

ния новых форм компьютинга. Отличие обозначенных понятий состоит в том, что вычисляемая величина является детерминированной, а вычисленная — размытой (недетерминированной) и недоопределенной. В силу этого артефакта любая имитация моделируемой задачи в среде вычислений определяет ее как размытую задачу, т. е. константы и переменные компьютерной модели являются размытыми и недоопределенными информационными объектами-идентификаторами среды вычислений. Другой важный артефакт традиционного подхода организации и реализации различных форм компьютинга в логических и алгоритмических схемах вычислительного эксперимента — то, что логика и математический аппарат такого подхода не позволяют учитывать влияние динамических, информационных, математических и метрологических аспектов эволюции информационных объектов среды вычислений на достоверность, надежность и адекватность результатов (промежуточных и конечных) моделирования.

Для преодоления обозначенных выше объективных математических и логических трудностей традиционного подхода при построении вычислительных экспериментов и нейтрализации влияния так называемого парадокса *синдрома Пигмалиона* в технологиях математического моделирования на достоверность, надежность и адекватность получаемых результатов возможным состояниям реально исследуемых объектов в работе описываются базовые понятия и определения математической основы и геометрической интерпретации метода построения решений размытых задач на виртуальных решетках как новой парадигмы компьютерной математики и математического моделирования.

Этот метод представляет собой синтез нового подхода конструирования разностных схем для компьютерного моделирования размытых дискретизированных задач в условиях модельной и алгоритмической замкнутости, ограничений среды вычислений, обмена, многофакторной неопределенности и моделей активной виртуальной памяти среды вычислений. С одной стороны, он предназначен как для конструирования таких сеточных структур, в которых базовые и неравномерные сетки

образуют единую пространственно-временную геометрию области формирования решения размытой задачи, так и для построения разностных аппроксимаций на сеточных структурах не в виде формул и рекуррентных схем, а достаточно сложных моделей алгоритмов и процедур. А с другой — его можно применять для построения вычислительных конструкций на сеточных структурах с использованием динамических моделей вычислительных технологий моделирования размытых задач, решения которых сроятся в виде комплексов на конечных топологиях узлов виртуальных решеток.

Концептуальная модель имитируемой динамической системы в среде вычислений компьютерной системы учитывает многоуровневую формализацию моделируемой системы — от абстрактного ее описания до реализации вычислительных экспериментов и интерпретации результатов. В этом случае модель системы представляет собой синергию четырех взаимосвязанных и взаимообусловленных моделей: абстрактной (теоретико-множественное описание задачи), информационной (информационное описание), топологической (геометрическое описание), конкретной (физическое представление) [3].

Рассмотрим логическую схему формализации моделей алгоритмов и процедур для построения численных решений абстрактной модели исходной размытой задачи в виде дискретизированой модельной задачи в рамках концептуальной модели на примере задачи Коши с размытыми начальными условиями и параметрами. В этом случае эволюционный оператор для задачи абстрактной модели формально задается в векторной форме в виде системы дифференциальных уравнений, областью определения переменных (зависимых и независимых) и параметров являются размытые подмножества:

$$dx / dt = F(t, x, y), \qquad (1)$$

где x — вектор размытых переменных с вектором функций принадлежности $\mu(x)$, $\mu \in [0,1]$; F — вектор правых частей; y — вектор размытых параметров с вектором функций принадлежности $\mu_1(y)$, $\mu_1 \in [0,1]$; t — нечеткая переменная с функцией принадлежности $\mu'(t)$, $\mu' \in [0,1]$.

Начальные условия для системы уравнений (1) задаются моделью неопределенности. Мера неопределенности размытого события $A \in R^2$, задаваемого в проективной плоскости *x0t* как подмножество точек со скалярными размытыми координатами *x* и *t*, связана с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ интегралом Лебега — Стильтьеса:

$$P(A) = \int_A \mu_A(x) dp, \qquad (2)$$

где $p \in [0,1]$ и $\mu_A \in [0,1]$; *A* — размытое событие в евклидовом пространстве определяется характеристической функцией $\mu_A : R^2 \to [0,1]$, которая ассоциирует некоторому *x* в R^2, его степень принадлежности $\mu_A(x)$ — подмножеству *A*.

При компьютерном моделировании поведения системы (1) описывается и отражается на языке информационной модели, в рамках которой задача (1) определяется и задается как дискретная динамическая информационная система, определенная на множестве узлов решеток Z^2 и $\widehat{Z}^2$ [3]. В компьютерных системах информационными прототипами среды вычислений и ее элементов являются символьные цепочки и их композиции. Моделирование в виртуальной среде вычислительных систем, с одной стороны, порождает динамику соответствующих цепочек связанных отображений (*ЦСО)* в вычислительных технологиях [4]. А с другой — отражает метамеханизм информационного взаимодействия и взаимосвязи виртуальных объектов среды моделирования в виде состояний динамики *ЦСО* и реальных состояний имитируемой задачи на узлах решетки Z^2 как геометрическом шаблоне модели активной памяти. Для построения *ЦСО*, соответствующих уравнениям типа (1), используются следующие виды дискретизации формальных эволюционных операторов:

$$\begin{aligned} dx(t)/dt &\to [x(t+\Delta t) - x(t)]/\Delta t; \\ d^2x(t)/dt^2 &\to [x(t+2\Delta t) - 2x(t+\Delta t) + x(t)]/\Delta t, \end{aligned} \qquad (3)$$

где Δt — шаг дискретизации по размытой параметрической переменной t.

Для реализации информационной модели в виде компьютерных технологий моделирования задачи (1) исследованы две схемы построения *ЦСО*: первая — на основе методов Рунге — Кутты, а вторая — на основе методов Адамса. В настоящее время в вычислительных технологиях компьютерного моделирования эти методы наиболее изучены и опробованы. Для размытых задач (1) *ЦСО* по каждой координате вектора $\boldsymbol{x}$, с одной стороны, можно рассматривать как множество проекций локальной информационной динамической системы $(\psi, \boldsymbol{R}^2)$ в узлах базовой координатной решетки Z^2 [4]. Здесь ψ — это локальные отображения моделируемых точек M_l решетки $\widehat{Z}^2$ в окрестности узлов решетки Z^2 в проективной плоскости $\boldsymbol{R}^2$. А с другой — как исходные феноменологические модели эволюционных операторов локальной динамики в соседних точках для маршрутных схем алгоритмов вычислительных технологий построения решений системы (1) на основе механизма виртуальной перспективы на узлах решетки Z^2 [1].

ЦСО в такой интерпретации выступают динамической составляющей механизма действия оператора ψ в компьютерных технологиях моделирования исходной задачи, а также определяют схему и алгоритм формирования (образования) множества $I_r = \{M_l\}$ размытых точек локальной динамической системы $(\psi, \boldsymbol{R}^2)$ на решетке $\widehat{Z}^2$ плоскости $\boldsymbol{R}^2$.

В рамках формализма алгоритмитики среды вычислений эволюционный оператор задачи (1) является символическим обозначением бесконечного алгоритма для вычислительных технологий построения решений соответствующей дискретизированной задачи на узлах решетки $\widehat{Z}^2$ в виде дискретных размытых функций. Тогда оператор взаимодействия между символьными цепочками узлов $\widehat{Z}^2$, посредством которого реализуются схемы построения *ЦСО* в алгритмах и процедурах вычислительных технологий получения решений дискретизированной задачи (1), задается в виде *псевдорекурсивных* функ-

ций. Эти функции строятся на основе двух типов разностных схем. В первом случае — в виде нерекурсивного цифрового фильтра на основе схем Рунге — Кутты

$$x_{n+1}^i = x_n^i + h\sum_{l=1}^{L} p_l k_l \,, \qquad (4)$$

где x_{n+1}^i — значение *i*-й координаты вектора *x* задачи (1) в *(n + 1)*-м отсчете по оси *Ot* (аналогично для x_n^i); *h* — шаг дискретизации по оси *Ot*; p_l — коэффициенты для получения аппроксимаций более высокого порядка; k_l — значения функций-координат вектора *F* правой части уравнений (1) для соответствующих координат вектора x левой части.

А для второго случая — в виде рекурсивного цифрового фильтра на основе схем Адамса:

$$x_{n+s}^i = x_{n+s-1}^i + h\sum_{l=1}^{s} \beta_l f_l \,, \qquad (5)$$

где β_l — константы; f_l — значения функций-координат вектора *F* правой части эволюционного оператора (1) для соответсвующих координат вектора *x* его левой части; *s* — порядок метода.

Соотношения (4) и (5) являются символической формой обозначения оператора взаимодействия для процессов с локальным взаимодействием между символьными цепочками в узлах решетки $\hat{Z}^2$ в пределах двух соседних столбцов решетки Z^2 [1], хотя в традиционной вычислительной математике для построения численных решений задачи Коши эти соотношения применяются для объектов числовой природы.

Список литературы

1. *Мышев А. В.* Метод виртуальной перспективы в моделировании размытых задач // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. №3. С. 66—78.

2. *Мышев А. В.* Компьютинг и моделирование размытой задачи Коши методом виртуальной перспективы // Программные продукты и системы. 2012. №3. С. 215—221.

3. *Мышев А. В.* Информационные технологии моделирования и системный анализ размытой динамики малых тел космического пространства // Околоземная астрономия — 2003 : сб. тр. междунар. науч. конф. СПб. : ВВС, 2003. Т. 2. С. 49—53.

4. *Мышев А. В.* Теория компьютерного восприятия и технологии взаимодействия вычислительного интеллекта с виртуальной средой моделирования // Кибернетика и технологии XXI века : тр. 7-й междунар. науч.-техн. конф. Воронеж : ВГУ, 2006. Т. 2. С. 497—508.

В. Г. Синюк[1], М. В. Панченко[2]
БГТУ им. Шухова, Белгород, Россия
[1]vgsinuk@mail. ru, [2]panchenko. maks@gmail. com

ПРАВИЛО *MODUS PONENS* ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ MISO-СТРУКТУРЫ

Введение

В последнее время нечеткие множества и нечеткая логика, представленные Лотфи Заде [1], используются в широком спектре проблемно-ориентированных областей, таких как управление технологическими процессами, обработка изображений, распознавание и классификация, принятие решений и других. Разработано множество практических приложений, включая управление в стиральных машинах, фокусировка в видео- и фотокамерах, настройка цветов в телевизоре, управление переключением автомобильной трансмиссии и т. д. [2]. В то же время активно развиваются технологии на основе нейронных сетей. Нечеткие системы, нейронные сети, эволюционные алгоритмы образуют объединение методов, которое называется «мягкие вычисления», и используются совместно [3].

© Синюк В. Г., Панченко М. В., 2016

Наиболее популярные подходы в реализации нейро-нечетких структур — метод Такаги Сугено; метод Мамдани; системы логического типа.

Метод Мамдани, наиболее часто применяемый в инженерных приложениях, не лишен недостатков, как отмечается в работах [4; 5]. Для их преодоления предлагается использовать системы логического типа.

Рассмотрим один подход к нечеткому выводу с полиномиальной вычислительной сложностью, основанный на композиционном правиле вывода для логических систем [6] Multiple Inputs Single Output (MISO) структуры.

1. Сложность нечеткой продукции с N-входами

Соотношение между входами и выходами нечеткой продукции описывается следующим образом.

Если β_1 есть A_1 и β_2 есть A_2 и … и β_n есть A_n, то γ есть B, где A_i — терм входной β_i-й лингвистической переменной, которая формализуется нечеткой переменной; $< A_i, X_i, \tilde{A}_i >$, X_i — область определения нечеткой переменной; $\widetilde{A}_i = \int_{X_i} \frac{\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i)}{x_i}, x_i \in X_i$, — нечеткое множество, описывающее ограничение на значение нечеткой переменной A_i, $i = \overline{1,n}$.

B — терм выходной лингвистической γ и формализуется нечеткой переменной $< B, Y, \widetilde{B} >$, Y — соответственно область определения нечеткой переменной, $\widetilde{B} = \int_Y \frac{\mu_{\widetilde{B}}(y)}{y}, y \in Y$ — нечеткое множество, где $\mu_{\widetilde{B}}(y)$ — возможность того, что переменная y примет название переменной B.

Нечеткая продукция формализуется (n+1)-арным нечетким отношением $\widetilde{R}$ следующего вида:

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 \times ... \tilde{A}_n \times Y \to X_1 \times X_2 \times ... \times X_n \times \tilde{B} \to$$
$$\to \int\limits_{\substack{\times X_i \times Y \\ i=\overline{1,n}}} \frac{\mu_{\tilde{R}}(x_1, x_2, ..., x_n, y)}{(x_1, x_2, ..., x_n, y)}, \qquad (1)$$

где $\to$ обозначена одна из импликаций многозначной логики.

Как следует из (1), сложность (n + 1)-арного нечеткого отношения $\widetilde{R}$ — $O\left(|X|^n \cdot |Y|\right)$.

Утверждение. При доказательстве данного утверждения используется max-min-базис. Если функция принадлежности бинарного отношения $\mu_{\widetilde{R}}\left(\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i), \mu_{\widetilde{B}}(y)\right), i = \overline{1,n}$, полученная при формализации импликации $\widetilde{A}_i \to \widetilde{B}$, не возрастает по аргументу $\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i)$, то функция принадлежности (n + 1)-арного нечеткого отношения, которое характеризует импликацию:

а) $\widetilde{A}_1$ *и* $\widetilde{A}_2$ *и*,...,*и* $\widetilde{A}_n \to \widetilde{B}$ обладает свойством:

$$\mu_{\tilde{R}}(x_1, x_2, ..., x_n, y) = \bigcup_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{R}_i}\left(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(y)\right); \qquad (2)$$

б) $\widetilde{A}_1$ *или* $\widetilde{A}_2$ *или* ... *или* $\widetilde{A}_n \to \widetilde{B}$ обладает свойством:

$$\mu_{\tilde{R}}(x_1, x_2, ..., x_n, y) = \bigcap_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{R}_i}\left(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(y)\right). \qquad (3)$$

Доказательство свойства а)

Определение 1. Функция $\mu_{\widetilde{R}_i}\left(\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i), \mu_{\widetilde{B}}(y)\right)$ является невозрастающей по аргументу $\mu_{\widetilde{B}}(y)$, если $\forall \mu_{\tilde{B}}(y) \in [0,1]$, $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$, из условия $\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i) > \mu_{\widetilde{A}_i}(x_j)$ следует неравенство

$$\mu_{\widetilde{R}}\left(\mu_{\widetilde{A}_i}(x_i), \mu_{\widetilde{B}}(y)\right) \le \mu_{\widetilde{R}}\left(\mu_{\widetilde{A}_i}(x_j), \mu_{\widetilde{B}}(y)\right).$$

Доказательство: обозначим произвольное значение

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = b \in [0,1], \tag{4}$$

тогда правая часть выражения (2) приобретает вид:

$$\mu_{\tilde{R}}(\bigcap_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{A}_i}(x_i), b) = \mu_{\tilde{R}_i}(\min_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{A}_i}(x_i), b).$$

Выберем произвольный набор аргументов

$$(x_1, x_2, ..., x_n) \in X_1 \times X_2 \times ... \times X_n$$

и обозначим $\mu_{\tilde{A}_k}(x_k) = \min_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{A}_i}(x_i)$, отсюда следует:

$$\mu_{\tilde{A}_k}(x_k) \le \mu_{\tilde{A}_i}(x_i) \forall i = \overline{1,n}.$$

В соответствии с определением 1

$$\mu_{\tilde{R}_k}\left(\mu_{\tilde{A}_k}(x_k), b\right) \ge \mu_{\tilde{R}_i}\left(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), b\right) \forall i = \overline{1,n}.$$

То есть значение величины $\mu_{\tilde{R}_k}(\mu_{\tilde{A}_k}(x_k), b)$ не меньше любого из значений $\mu_{\tilde{R}_i}(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), b)$. Следовательно, оно не меньше нечетких дизъюнкций (т. е. max) этих значений. А так как в правой части неравенства присутствует и $\mu_{\tilde{R}}(\mu_{\tilde{A}_k}(x_k), b)$, неравенство преобразовывается в равенство:

$$\mu_{\tilde{R}_k}\left(\mu_{\tilde{A}_k}(x_k), b\right) = \bigcup_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{R}_i}\left(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), b\right),$$

или

$$\mu_{\tilde{R}_k}(\bigcap_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{A}_i}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(y)) = \bigcup_{i=\overline{1,n}} \mu_{\tilde{R}_i}(\mu_{\tilde{A}_i}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(y)).$$

Утверждение а) доказано.

Свойство б) доказывается аналогично.

При исследовании функции принадлежности нечеткого бинарного отношения $\mu_{\tilde{R}}(\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_B(y))$ выявлены следующие импликации, удовлетворяющие определению 1:

— импликация Заде:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\max[\min[\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_{\tilde{B}}(y)],1-\mu_{\tilde{A}}(x)];$$

— импликация Лукасевича:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\min[1,1-\mu_{\tilde{A}}(x)+\mu_{\tilde{B}}(y)];$$

— импликация Решера:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\begin{cases}1, если\ \mu_{\tilde{A}}(x)\le\mu_{\tilde{B}}(y)\\ 0, если\ \mu_{\tilde{A}}(x)>\mu_{\tilde{B}}(y)\end{cases};$$

— импликация Геделя:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\begin{cases}1, если\ \mu_{\tilde{A}}(x)\le\mu_{\tilde{B}}(y)\\ \mu_{\tilde{B}}(y), если\ \mu_{\tilde{A}}(x)>\mu_{\tilde{B}}(y)\end{cases};$$

— импликация Клини-Динса:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\max[1-\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_{\tilde{B}}(y)];$$

— импликация Райхенбаха:

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\min[1,1-\mu_{\tilde{A}}(x)+\mu_{\tilde{A}}(x)*\mu_{\tilde{B}}(y)];$$

— импликации Алиева:

ALI2-logic

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\begin{cases}1, & если\ \mu_{\tilde{A}}(x)\le\mu_{\tilde{B}}(y)\\ \min[1-\mu_{\tilde{A}},\mu_{\tilde{B}}(y)], & если\ \mu_{\tilde{A}}(x)>\mu_{\tilde{B}}(y)\end{cases};$$

ALI3-logic

$$\mu_{\tilde{A}\to\tilde{B}}(x,y)=\begin{cases}1, & если\ \mu_{\tilde{A}}(x)\le\mu_{\tilde{B}}(y)\\ \dfrac{\mu_{\tilde{B}}(y)}{\left((1-\mu_{\tilde{B}}(y))+\mu_{\tilde{A}}(x)\right)}, & если\ \mu_{\tilde{A}}(x)>\mu_{\tilde{B}}(y)\end{cases}.$$

Учитывая доказанное выше, можно сформировать обобщенное правило modus ponens [7] для нечетких продукций с *n* входами.

Определение 2. Пусть нечеткие унарные отношения $R(x_1)$, $R(x_2),\ldots,R(x_n)$ и $R(y)$, а также $(n+1)$-арное нечеткое отношение $R(x_1, x_2, \ldots, x_n, y)$ являются нечеткими множествами на базовых множествах $X_1, X_2, \ldots, X_n, Y$ и $X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n \times Y$, соответственно (см. рис.).

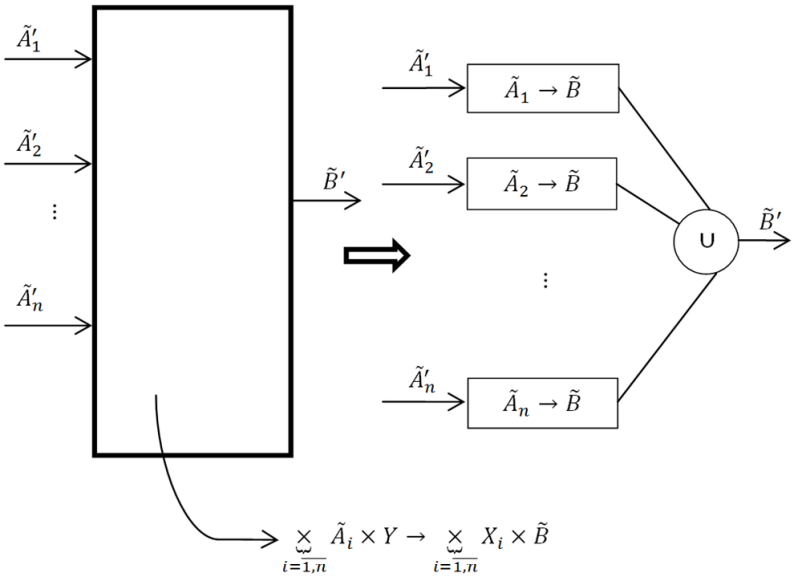


Рис. Графическая интерпретация определения 2

Пусть заданы нечеткие множества $\tilde{A}'_1, \tilde{A}'_2, \ldots, \tilde{A}'_n$ на базовых множествах $X_1, X_2, \ldots, X_n$ и $(n+1)$-арное отношение, которое формализует импликацию $\tilde{A}_1 * \tilde{A}_2 * \ldots * \tilde{A}_n \to \tilde{B}$. При этом функция принадлежности бинарного отношения, соответствующая

импликации $\tilde{A}_i \to \tilde{B} \quad i=\overline{1,n}$, удовлетворяет (2) и (3). Тогда композиционное правило утверждает, что решением системы уравнений назначений относительно *R(y)* является:

$$\mathrm{R}(\mathrm{x}_1, \mathrm{x}_2, \ldots, \mathrm{x}_n, \mathrm{y}) = \widetilde{A}_1 * \widetilde{A}_2 * \ldots * \widetilde{A}_n \to \widetilde{B} \text{ знание,}$$

$$\left.\begin{array}{l} \widetilde{R}(x_1) = \widetilde{A}_1'; \\ \widetilde{R}(x_2) = \widetilde{A}_2'; \\ \cdots \\ \widetilde{R}(x_n) = \widetilde{A}_n'; \end{array}\right\} \text{факт.}$$

Вывод имеет вид:

$$\widetilde{R}(y) = \widetilde{B}' = \bigcup_{i=\overline{1,n}} [\widetilde{A}' \circ (\widetilde{A}_i \to \widetilde{B})].$$

В случае, если рассматривается вариант б),

$$\tilde{R}(y) = \tilde{B}' = \bigcap_{i=\overline{1,n}} [\tilde{A}' \circ (\tilde{A}_i \to \tilde{B})].$$

Вычислительная сложность в данном случае будет равна $O(n * |X| * |Y|)$.

2. Вычисление выхода для блока правил

Блок правил представляет собой совокупность импликаций относительно термов выходной лингвистической переменной *B* и представляется в виде:

$$R^{(1)} : \textit{Если } \widetilde{\mathrm{A}}_{11} * \widetilde{A}_{12} * \ldots * \widetilde{A}_{1n} \textit{ то } \widetilde{B}_1;$$

$$R^{(2)} : \textit{Если } \widetilde{\mathrm{A}}_{21} * \widetilde{A}_{22} * \ldots * \widetilde{A}_{2n} \textit{ то } \widetilde{B}_2;$$

$$\bullet \quad \bullet \quad \bullet$$

$$R^{(m)} : \textit{Если } \widetilde{\mathrm{A}}_{\mathrm{m1}} * \widetilde{A}_{m2} * \ldots * \widetilde{A}_{mn} \textit{ то } \widetilde{B}_m,$$

где *m* — количество термов выходной лингвистической переменной.

Тогда общий результат по данному выходу с учетом того, что описанная выше система относится к логическому типу, определяется как [8]

$$\widetilde{B}' = \bigcap_{j=\overline{1,m}} \widetilde{B}'_j \ .$$

Заключение

В работе предложен подход к нечеткому выводу для логических систем типа MISO на основе обобщенного правила modus ponens. Входные данные в общем случае могут быть четкими значениями или представлять собой нечеткие множества. Полиномиальная вычислительная сложность предложенного механизма вывода, которой удалось избежать за счет разбиения сложных правил на набор простых, позволяет эффективно использовать его для решения задач моделирования, диагностики и прогнозирования в системах со многими входами.

Список литературы

1. *Zadeh L. A.* Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8(3). P. 338—353.

2. *Hirota K.* Industrial Applications of Fuzzy Technology. Tokyo ; Berlin ; Heidelberg ; N. Y. : Springer Verlag, 1993.

3. *Aliev R. A., Aliev R. R.* Soft Computing and its Applications. Singapore ; New Jersey ; L. ; Hong Kong : World Scientific Publishing, 2001.

4. *Yager R. R.* Fuzzy logic controller structures // Proc. SPIE Symp. Laser Sci. Optics Appl. 1990. P. 368—378.

5. *Yager R. R.* A general approach to rule aggregation in fuzzy logic control // Appl. Intelligence. 1992. Vol. 2. P. 333—351.

6. *Rutkowski L., Cpałku K.* Flexible Neuro-Fuzzy Systems // IEEE Trans. Neural Networks. 2003. Vol. 14(3). P. 554—574.

7. *Zadeh L. A.* The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Science. 1975. Part 1, Vol. 8. P. 199—249 ; Part 2, Vol. 8. P. 301—357 ; Part 3, Vol. 9. P. 43—80.

8. *Рутковский Л.* Методы и технологии искусственного интеллекта / пер. с польск. И. Д. Рудницкого. М. : Горячая линия — Телеком, 2010.

В.В. Смирнов
ООО «Сколково Груп Интернешнл», Москва, Россия
e-mail: vitaly_smirnov@mail. ru

ПОСТРОЕНИЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Введение

В работе [1] кратко рассмотрены традиционные квалиметрические оценочные модели, называемые «качество», «экономичность» и «интегральное качество», которые лучше применимы, когда оценивание выполняется с позиции интересов общества и коммерческих организаций, а для оценивания с позиции отдельно взятых потребителей предложено использовать «квалиметрическую функцию полезности». Основным источником исходных данных для построения квалиметрических оценочных моделей являются эксперты. Использование документов в качестве таких источников в рамках квалиметрии в настоящее время исследовано недостаточно. В данной статье рассмотрена возможность использования конструкторской документации как источника оценочной информации о структуре, функциях и свойствах оцениваемых объектов в сочетании с данными, полученными от экспертов.

1. Некоторые особенности построения квалиметрических оценочных моделей

Квалиметрия, по словам ее основателя Г.Г. Азгальдова, — это научная дисциплина, изучающая методологию и проблематику комплексного количественного оценивания качества любых объектов [2]. Вместе с тем объект может исследоваться в рамках квалиметрии, если возможно оценить степень удовлетворения данным объектом общественной или личной потребности [3]. Таким образом, если назовем объектами, обладающими полезностью, такие, для которых возможно оценить

© Смирнов В.В., 2016

степень удовлетворения ими общественных или личных потребностей, то объектом исследований квалиметрии будут объекты, обладающие полезностью.

Оценивание степени удовлетворения объектом общественных или личных потребностей можно рассматривать как частный случай исследования его преимуществ и недостатков по сравнению с другими объектами, способными удовлетворять те же потребности. Поэтому предметом квалиметрии можно считать преимущества и недостатки объектов, обладающих полезностью.

Хотя квалиметрию рассматривают как междисциплинарную науку, корни ее базовых понятий уходят в экономические теории. В частности, квалиметрическое понятие «полезность» изначально было ассоциировано с понятием «общественная потребительная стоимость» [4], и, как следствие, за пределами исследований квалиметрии оказались вопросы полезности для отдельно взятых потребителей. Пожалуй, наиболее известными теориями, посвященными проблемам полезности с позиции отдельных потребителей, являются теория *предельной полезности* [5] и *модель Н. Кано* [6]. Один из путей расширения применимости квалиметрии при оценивании полезности с позиции отдельных потребителей был обозначен в работе [1], где предложено использовать для этого *квалиметрическую функцию полезности*.

Квалиметрический процесс оценивания включает в себя извлечение, представление и обработку информации о сложных свойствах объектов, обладающих полезностью, поэтому методом квалиметрии можно считать методы количественного многокритериального оценивания таких объектов. Обычно квалиметрические оценочные модели представляют собой деревья свойств [2; 7], или графы, которые будем называть моделью «цель-критерии-альтернативы» [8]. При их построении экспертам необходимо определить элементы оценочных моделей и их важность, следуя определенным правилам. Правила позволяют унифицировать процесс моделирования, снижая его субъективность. Однако, следуя им, затруднительно использовать информацию об оцениваемых объектах, содержа-

щуюся в текстовых документах. Тем не менее наиболее перспективной для этой цели является конструкторская документация, поскольку она, как правило, содержит информацию о функциональном назначении изделий и их составных частей, а среди правил построения деревьев свойств есть правила, позволяющие использовать эти данные.

Ниже кратко изложен предлагаемый подход к использованию конструкторской документации для построения квалиметрических оценочных моделей.

2. Модель «функции-объекты-свойства»

Одно из правил построения традиционых квалиметрических деревьев свойств — *функциональная направленность формулировок свойств* [2], что не очень сложно обеспечить на верхних уровнях декомпозиции, однако по мере приближения к самому нижнему ее уровню для многих оцениваемых объектов добиться этого становится все сложнее. Наибольшие затруднения вызывают формулировки названий простых свойств, которые, в соответствии с правилами построения деревьев свойств, должны располагаться на нижнем ярусе дерева, и уже нет необходимости их декомпозировать — их значения могут быть оценены количественно, а также с помощью нечетких мер. Трудно обеспечить функциональную направленность формулировок всех свойств в модели и в том случае, если использовать в качестве источников оценочной информации конструкторскую документацию, потому что свойства, значения которых имеют количественную оценку, и свойства, формулировки которых имеют функциональную направленность (прежде всего, эта информация содержится в описании функционального назначения изделий), являются обычно разными свойствами, хотя характеризуют одни и те же объекты. Более того, некоторые свойства, влияющие на потребительские предпочтения, например цены, могут вообще не содержаться в конструкторской документации, а значит, они должны быть включены в модели с помощью экспертов или других источников исходных данных.

Описанная выше проблема может быть решена путем внесения в дерево свойств дополнительной информации, которая традиционно в нем не учитывается, — обобщенной информации о структуре оцениваемого объекта и его аналогах. Хотя основатель квалиметрии Г. Г. Азгальдов этого не рекомендует, потому что конструкции оцениваемых объектов и их аналогов «могут быть существенно различны» и «достаточно быстро меняться как следствие технического прогресса» [2]. Поэтому будем предполагать, что в тех ситуациях оценивания, для которых применяется оценочная модель, построенная с использованием обобщенной информации о структуре оцениваемого объекта и его аналогах, есть возможность в достаточной степени абстрагироваться от конструктивных различий анализируемых объектов, а сама модель не успеет устареть прежде, чем ее используют по целевому назначению.

Исходя из введенных выше предположений, в случае возможности использования конструкторской документации для извлечения оценочной информации о функциональном назначении изделий предлагается выполнять декомпозицию свойств оцениваемого объекта, применяя в иерархии следующие четыре типа элементов:

— корневой элемент дерева, обозначающий комплексное оцениваемое свойство (например, «полезность вертолета»);

— элементы, обозначающие функции оцениваемого объекта (например, для вертолета это могут быть «полет» и «жизнеобеспечение»);

— элементы, соответствующие изделиям и их составным частям, предназначенным для выполнения функций, обозначаемых вышеназванными элементами (например, для вертолета это могут быть «газотурбинный двигатель» и «система жизнеобеспечения»);

— элементы, обозначающие простые и сложные свойства (например, для вертолета сложным свойством может быть «качество топливной системы», а простыми — «давление топлива» (для топливной системы) и «цена топливной системы»).

Оценочную модель в виде дерева, включающую вышеперечисленные элементы, будем называть моделью «функции-объ-

екты-свойства». Для ее построения необходимо использовать систему правил, заметно отличающуюся от той, которая традиционно используется в квалиметрии для построения деревьев свойств. Основные правила новой системы следующие:

— корневому элементу могут быть подчинены только элементы, обозначающие функции оцениваемого объекта;

— элементу, обозначающему функцию оцениваемого объекта, могут быть подчинены либо только другие такие же элементы, либо только элементы, соответствующие изделиям;

— элементу, соответствующему изделию или составной части изделия, могут быть подчинены либо только другие такие же элементы, либо простые или сложные свойства;

— элементу, соответствующему сложному свойству, могут быть подчинены только простые или сложные свойства;

— каждому элементу должны присваиваться веса (коэффициенты важности), как это описано в работе [1].

На рисунке представлен пример упрощенной оценочной модели «функции-объекты-свойства» (без отображения весов элементов) для оценивания полезности вертолета.

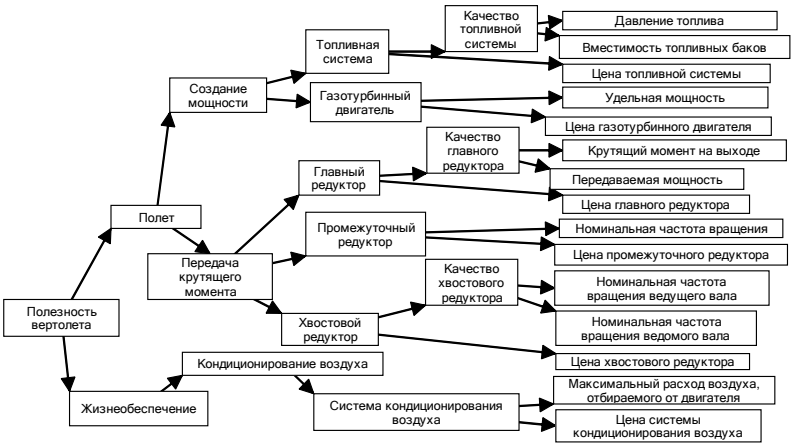


Рис. Пример модели «функции-объекты-свойства»

3. Автоматизированное построение квалиметрических оценочных моделей

Традиционные квалиметрические оценочные модели, такие как деревья свойств, строящиеся по правилам, описанным в работах [2; 7], и модели «цель-критерии-альтернативы», применяемые в методе анализа иерархий [8], ориентированы на использование экспертов в предметной области в качестве источников информации об основных составляющих оценочных моделей. Но процессы построения и использования оценочных моделей обычно выполняются не экспертами, а другими специалистами. Например, оценивание изделий с точки зрения интересов коммерческих организаций производится оценщиками, а анализом потребительских предпочтений занимаются маркетологи. Очевидно, что специалисты, выполняющие оценивание, заинтересованы в минимизации привлечения экспертов, например за счет использования документов, чтобы снизить затраты оценивания. В этом могут помочь средства автоматизации, особенно если они ориентированы на построение моделей «функции-объекты-свойства» и их пользователи имеют доступ к конструкторской документации (самостоятельно или через специалистов, не обязательно являющихся экспертами, но способными понять ее содержание).

Qualimetry Studio — это инструментальное программное средство для автоматизации работы квалиметролога, которое в настоящее время реализовано в виде исследовательского прототипа. Кроме традиционных квалиметрических моделей оно позволяет создавать модели «функции-объекты-свойства».

Для автоматизированной поддержки построения моделей «функции-объекты-свойства» предусмотрены пополняемые словари названий изделий, их функционального назначения и физически измеримых свойств, которые могут формироваться на основе конструкторской документации.

В процессе оценивания общественной и коммерческой полезности изделий возможен анкетный ввод числовых значений

простых свойств, получаемых опросом экспертов или из конструкторской документации. Предусмотрено согласование результатов опроса экспертов с использованием метода Дельфи так, как это принято в квалиметрии [2; 3].

Для оценивания потребительских предпочтений возможны ввод значений простых свойств из настраиваемого для конкретной модели набора нечетких чисел и расчет значений квалиметрической функции полезности [1], что можно считать оправданным предполагаемой способностью мозга оценивать вероятность удовлетворения потребностей [9].

Заключение

Применение модели «функции-объекты-свойства» в сочетании с использованием конструкторской документации делает процесс оценивания более естественным, поскольку решается проблема различимости моделей потребностей и оцениваемого объекта, имеющая место в традиционных подходах к оцениванию [10]. Когда специалист фокусирует внимание на изделиях и связанных с ними свойствах, он имеет дело с той частью модели, которая относится к модели оцениваемого объекта. Когда специалист фокусируется на функциональном назначении изделий, он имеет дело с требованиями, связывающими модель потребностей и модель оцениваемого объекта.

Автоматизированное построение модели «функции-объекты-свойства» с использованием конструкторской документации дает возможность снижать затраты на привлечение экспертов к процессу оценивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-07-00373).

Список литературы

1. *Смирнов В.В.* Квалиметрическая функция полезности // VIII Международная научно-техническая конференция : сб. науч. тр. : в 2 т. М. : Физматлит, 2015. Т. 2. С. 692—701.

2. *Азгальдов Г.Г.* Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). М. : Экономика, 1982.

3. *Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П.* О квалиметрии. М. : Изд-во стандартов, 1973.

4. *Азгальдов Г.Г.* Потребительная стоимость и ее измерение. М. : Экономика, 1971.

5. *Блюмин И.Г.* Эволюция теории «предельной полезности» // Критика буржуазной политической экономии : в 3 т. М. : Изд-во АН СССР, 1962. Т. 3: Кризис современной буржуазной политической экономии. С. 97—113.

6. *Kano N., Seraku N., Takahashi F., Tsuji S.* Attractive Quality and Must-Be Quality // Journal of the Japanese Society for Quality Control. 1984. Vol. 14, №2. P. 147—156.

7. *Azgaldov G.G., Kostin A.V.* The ABC of Qualimetry. M. : Ridero, 2015.

8. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993.

9. *Симонов П.В.* Эмоциональный мозг. М. : Наука, 1981.

10. *Смирнов В.В.* Моделирование оценивания при фокусировке внимания // Динамика сложных систем — XXI век. 2015. №3. С. 36—46.

А.В. Торопова
СПИИРАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: alexandra. toropova@gmail. com

АППАРАТ ДИАГНОСТИКИ СОГЛАСОВАННОСТИ ДАННЫХ В МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМОГО ПОВЕДЕНИЯ

Во многих задачах искусственного интеллекта встречается проблема согласованности данных, в частности данных, полученных от экспертов.

В работах [1—4] предложена модель оценки интенсивности социально значимого поведения. К такому поведению можно отнести, например, публикационную активность в социальных сетях, посещение каких-либо определенных заведений, потребление алкоголя и много другое.

© Торопова А.В., 2016

Предложенная модель, однако, не учитывает степень согласованности исходных данных, полученных от исследуемых, поэтому в данной работе предлагается подход к решению этой проблемы.

На рисунке 1 приводится модель социально значимого поведения $M = \left(G(V,L), \mathbf{P}\right)$ в виде байесовской сети доверия [5; 6]. Структура модели представлена графом $G(V,L)$, где $V = \{t_{01}, t_{12}, t_{23}, t_{\min}, t_{\max}, \lambda, n\}$ — множество вершин, $L = \{(u,v) : u,v \in V\}$ — множество направленных связей между вершинами. Другими словами, представлены случайные элементы, входящие в модель, и связи между ними.

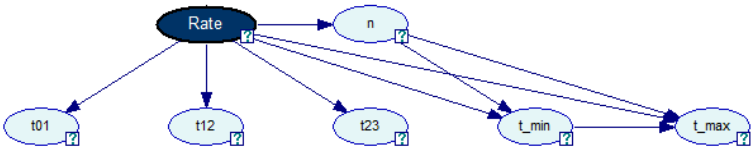


Рис. 1. Модель социально значимого поведения

На рисунке *Rate* — случайная величина, характеризующая интенсивность поведения; t_{ij} — случайная величина, характеризующая длину интервала между *i*-м и *j*-м с конца эпизодами, распределена экспоненциально (в предположении, что поведение представляет собой пуассоновский процесс). Кроме того, дополнительную информацию можно получить при включении в модель минимального и максимального интервалов между эпизодами ($t_{\min}$ и $t_{\max}$ соответственно).

Тензоры $\mathbf{P}$ условной вероятности, характеризующие переходы между узлами сети, где

$$\mathbf{P} = \left\{ P\left(t_{j,j+1} \middle| \lambda\right), P\left(t_{01} \middle| \lambda\right), P\left(t_{\min} \middle| n, \lambda\right), P\left(t_{\max} \middle| n, \lambda, t_{\min}\right), P\left(n \middle| \lambda\right), P(\lambda) \right\},$$

определяются следующим образом ($l_s = 1,\ldots,k_s$, где k_s — число дизъюнктных промежутков при дискретизации случайных величин; $s = 0,\ldots,4$;

$j=1,...,2$; $i=1,...,m$, где m — число дизъюнктных промежутков при дискретизации величины λ) [2]:

$$p\left(t_{j,j+1}^{(l_j)}\left|\lambda^{(i)}\right.\right)=e^{-a\lambda^{(i)}}-e^{-b\lambda^{(i)}},\ j=0,1,2,\ t_{j,j+1}^{(l_j)}=\left[a;b\right);$$

$$p\left(t_{\min}^{(l_3)}\left|n,\lambda^{(i)}\right.\right)=e^{-an\lambda^{(i)}}-e^{-bn\lambda^{(i)}},\ t_{\min}^{(l_3)}=\left[a;b\right);$$

$$p\left(n\left|\lambda^{(i)}\right.\right)=\frac{\left(\lambda^{(i)}T\right)^n}{n!}e^{-\lambda^{(i)}T};$$

$$p\left(t_{\max}^{(l_4)}\left|n,\lambda^{(i)},t_{\min}^{(l_3)}\right.\right)=e^{(n-1)\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}}\left(\left(e^{-\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}}-e^{-\lambda^{(i)}b}\right)^{n-1}-\right.$$

$$\left.-\left(e^{-\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}}-e^{-\lambda^{(i)}a}\right)^{n-1}\right),\ t_{\max}^{(l_4)}=\left[a;b\right).$$

Предлагается расширить модель вершинами, отвечающими за отображение оценки согласованности ответов, полученных от респондента, а также вершиной, объединяющей их и отвечающей за оценку достоверности сведений, полученных от респондента, в целом (рис. 2).

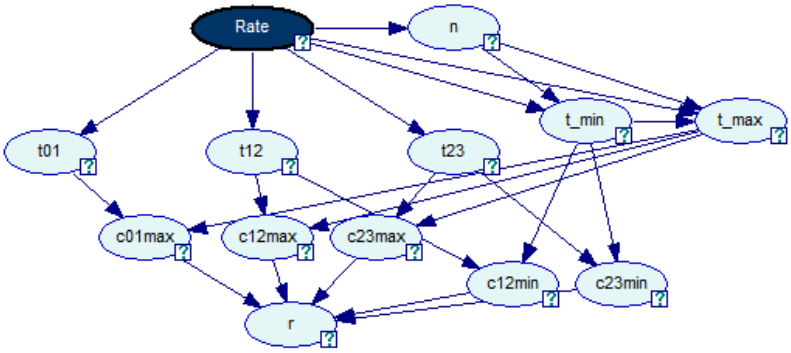


Рис. 2. Расширенная модель социально значимого поведения

Вершины $c_{t_{12,\min}}$ и $c_{t_{23,\min}}$ показывают степень согласованности эпизода t_{ij} с минимальным интервалом $t_{\min}$, вершины $c_{t_{01,\max}}$, $c_{t_{12,\max}}$ и $c_{t_{23,\max}}$ — эпизода t_{ij} с максимальным интервалом $t_{\max}$. Мы не рассматриваем $c_{t_{01,\min}}$, так как она представляет собой интервал между моментом интервью, который не является эпизодом исследуемого поведения, и последним эпизодом поведения. Оценка согласованности $c_{t_{ij,\min/\max}}$ может принимать значения: $c^{+}_{t_{ij,\min/\max}}$ (t_{ij} и $t_{\min/\max}$ согласованы), $c^{-}_{t_{ij,\min/\max}}$ (t_{ij} и $t_{\min/\max}$ не согласованы) и $c^{?}_{t_{ij,\min/\max}}$ (t_{ij} и $t_{\min/\max}$ находятся в одном и том же интервале).

Тензоры условной вероятности, характеризующие переходы к добавленному узлу, в общем случае определяются следующим образом:

$$p\left(c^{(s)}_{t_{ij,\min}} \mid t_{ij}, t_{\min}\right) = \begin{cases} \alpha^{(s)}, & t_{ij} > t_{\min}; \\ \beta^{(s)}, & t_{ij} < t_{\min}; \\ 1-\alpha^{(s)}-\beta^{(s)}, & t_{ij} = t_{\min}; \end{cases}$$

где $s \in \{+,-,?\}$, $\alpha^{(s)}, \beta^{(s)} \in [0;1]$, $\alpha^{(s)} + \beta^{(s)} \le 1$, $\sum \alpha = 1$, $\sum \beta = 1$.

Также аналогичным образом рассматриваются оценки согласованности $c_{t_{ij,\max}}$.

Вершина r характеризует оценку надежности респондента в целом. Чтобы упростить формулы для условных вероятностей, обозначим $c = \left(c_{t_{12,\min}}, c_{t_{23,\min}}, c_{t_{01,\max}}, c_{t_{12,\max}}, c_{t_{23,\max}}\right)$. Тогда

$$p(r^{+} \mid c) = \frac{\sum c^{+}}{\sum c},\ p(r^{-} \mid c) = \frac{\sum c^{-}}{\sum c} \text{ и } p(r^{?} \mid c) = \frac{\sum c^{?}}{\sum c}.$$

Для более удобной работы с представленным аппаратом диагностики согласованности данных для модели социально значимого поведения было разработано программное обеспечение с использованием C# и библиотеки Smile [7].

На рисунках 3, 4 представлены фрагменты интерфейса. В начале работы пользователю предлагается определить интервалы t_{ij}, $t_{\min}$ и $t_{\max}$, затем можно задать значения параметрам $\alpha^{(s)}$ и $\beta^{(s)}$, $s \in \{+,-,?\}$ и дополнить модель аппаратом диагностики согласованности данных, это можно сделать сразу или постепенно, по отдельности добавив вершины оценки согласованности вершин t_{ij} и $t_{\min}$, t_{ij} и $t_{\max}$, а затем вершину r.

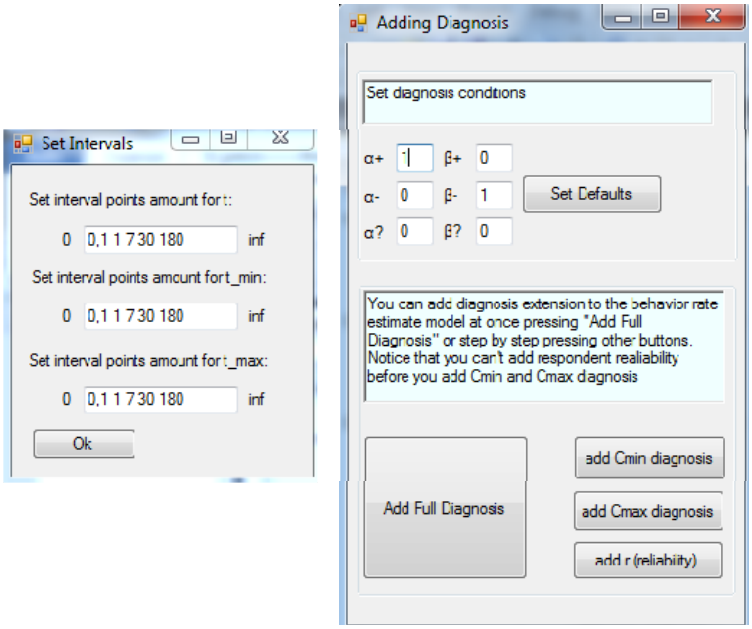


Рис. 3. Определение интервалов и добавление к модели аппарата диагностики согласованности данных

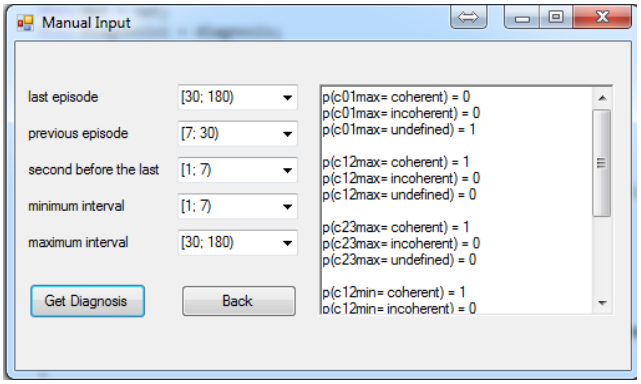


Рис. 4. Окно ввода данных об эпизодах вручную

После этого можно вводить данные, полученные от респондентов. Обычно такие данные могут быть получены с помощью анкетирования или опросов. Данные можно ввести вручную (рис. 4) или с помощью файла электронной таблицы. В первом случае результаты выводятся в предусмотренное для этого поле, во втором — в отдельный файл.

Таким образом, в работе предлагается гибридная модель социально значимого поведения: при построении самой модели используются вероятностные методы (пуассоновский процесс при расчете вероятностей) и байесовские сети доверия, также при дополнении модели аппаратом для диагностики согласованности данных возможна нечеткость при определении $\alpha^{(s)}$ и $\beta^{(s)}$, $s \in \{+,-,?\}$.

Разработанное программное обеспечение позволяет с большим удобством работать с предложенной моделью.

Полученные результаты дают возможность осуществлять моделирование и анализ социально значимого поведения в рамках различных исследований.

Список литературы

1. *Суворова А.В., Тулупьева Т.В., Тулупьев А.Л. и др.* Вероятностные графические модели социально значимого поведения индивида, учитывающие неполноту информации // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 3 (22). С. 101—112.

2. *Суворова А. В.* Модели и алгоритмы анализа сверхкоротких гранулярных временных рядов на основе байесовских сетей доверия : дис. … канд. физ.-мат. наук. СПб., 2013.

3. *Суворова А. В.* Моделирование социально-значимого поведения по сверхмалой неполной совокупности наблюдений // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11, №9. С. 34—38.

4. *Суворова А. В., Тулупьев А. Л., Сироткин А. В.* Байесовские сети доверия в задачах оценивания интенсивности рискованного поведения // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2014. Т. 9, №2. С. 115—129.

5. *Perl J.* Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge : Cambridge University Press, 2000.

6. *Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И.* Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009.

7. *GeNIe&* SMILE. URL: http://download.bayesfusion.com/files.html?category=Academia (дата обращения: 18.02.2016).

Н. Г. Ярушкина[1], И. А. Андреев[2], Е. А. Бексаева[3], В. В. Клейн[4], И. П. Серков[5]

Ульяновский государственный технический университет, Россия

e-mail: [1]jng@ulstu. ru, [2]ares-ilya@ya. ru, [3]ekaty@clukva. ru, [4]vikklein93@gmail. com, [5]bivo@bivo. ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВА КЛАССОВ И ЭКЗЕМПЛЯРОВ ОНТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ТЕЗАУРУСА И ТЕКСТА ПО ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Введение

Задача формирования онтологии предметной области связана с задачами информационного поиска [1], извлечения терминологии [2] и интеграции разнородных баз данных [3].

© Ярушкина Н. Г., Андреев И. А., Бексаева Е. А., Клейн В. В., Серков И. П., 2016

Использование онтологии в качестве инструмента при решении задачи предполагает привлечение эксперта по предметной области, его обучение работе с онтологиями с последующим процессом ручного формирования самой онтологии. Недостатки данного процесса — увеличение материальных и временных затрат на решение задачи, возможные неточности в результате работы эксперта. Таким образом, автоматизация процесса формирования онтологии, имеющая целью избавление от упомянутых недостатков, становится актуальной задачей.

В данной статье приводится алгоритм автоматизации процесса формирования онтологии предметной области на основе текстов по соответствующей предметной области.

В качестве базы знаний используется тезаурус по соответствующей предметной области. Такие тезаурусы предварительно составляются экспертом-лингвистом, что делает их содержание зависимым от субъективного фактора, уровня подготовки эксперта, а также актуальности использованных при составлении источников.

Предлагаемый алгоритм решает задачу построения дерева классов, а также выделяет экземпляры классов, но это не является полным решением задачи автоматического формирования онтологии. В статье рассматривается только начальный этап автоматического формирования онтологии из текстов по определенной предметной области.

Цель данной работы — описание созданного алгоритма формирования дерева классов и их экземпляров, а также некоторых особенностей его технической реализации.

1. Онтология, классы и их экземпляры

1.1. Понятие и модель онтологии

Значительный спектр решаемых с использованием онтологии задач породил множество определений понятия «онтология», большинство которых рассматриваются в [4].

В данной статье онтология понимается как формальное представление предметной области, изображаемое, согласно [5], в виде тройки:

$$O = <T, R, F>, \quad (1)$$

где T — конечное множество терминов рассматриваемой предметной области; R — конечное множество отношений между понятиями рассматриваемой предметной области; F — конечное множество функции аксиоматизации, заданных на множестве T и R (при этом присутствует обязательное требование непустоты множества T).

1.2. Классы и их экземпляры

Классы онтологии вместе с их экземплярами являются основой онтологии любого типа, применяются и строятся одинаково практически в любом языке описания онтологий, представляют собой коллекции объектов, сформированные по определенному принципу. Один класс может содержать как классы-потомки, так и собственные экземпляры. Таким образом, классы представляют собой иерархию понятий по отношению вложения.

Экземпляры классов в онтологии являются компонентами нижнего уровня и выражают как физические, так и абстрактные объекты. Формально онтология может не включать в себя ни одного экземпляра класса.

Кроме классов и их экземпляров онтология содержит отношения и атрибуты. Извлечению этих компонентов из текста предшествует формирование дерева классов и их экземпляров.

2. Формирование дерева классов и экземпляров

2.1. Первичная обработка текста

На вход реализованной информационной системе подается текст на естественном языке. Для определения части речи слова в тексте и правильного составления термина по лингвистическому шаблону используются инструменты Mystem [6] и LingvoNET [7].

Mystem — морфологический анализатор русского языка с поддержкой снятия морфологической неоднозначности.

LingvoNET — библиотека для склонения и спряжения слов русского языка для. NET Framework. Библиотека содержит встроенные словари русского языка на основе словаря Зализняка.

Текст, который был размечен программой Mystem, обрабатывается информационной системой с помощью библиотеки LingoNET и заносится в базу данных.

2.2. Извлечение терминов

Для построения понятийного аппарата из текстов предметной области используется поиск и выделение субстантивных именных словосочетаний, выражаемых схемой: согласуемое слово + существительное. В этой модели существительное является главным словом, а согласуемое слово — зависимым и может выражаться как прилагательным, так и существительным.

Количество слов в именных словосочетаниях колеблется от двух до семи и в среднем составляет три слова. В ходе работы были выделены шаблоны именных словосочетаний, используемых для выделения терминов предметной области. В русском языке синтаксическая структура терминов предметной области более чем в 90% случаев соответствует следующим пяти шаблонам: одиночные существительные, существительное + существительное в родительном падеже, прилагательное + существительное, прилагательное + прилагательное + существительное, существительное + прилагательное + существительное в родительном падеже.

2.3. Автоматическое формирование дерева классов из текстов по предметной области

На начальном этапе построения онтологии необходимо построить дерево классов. Для разработки инструмента, осуществляющего формирование дерева классов, был создан алгоритм автоматического построения дерева классов на основе

данных из тезауруса. Эти алгоритмы представляют собой последовательность шагов по обработке характеристик, их структурированию, а также выделению классов на их основе.

Рассмотрим данные алгоритмы более детально. На первом этапе анализа текстов выделяются термины по лингвистическим шаблонам, рассмотренным в параграфе 2.2. После выделения списка терминов они проходят отбор по стоп-словам. Стоп-слова были выделены экспертом лингвистом и в основном включают в себя: местоимения, междометия, частицы, вводные слова и т. п.

На втором этапе осуществляется непосредственное построение дерева классов. Формирование классов происходит при сопоставлении терминов, выделенных из текста, с тезаурусом по предметной области, предварительно составленным экспертом-лингвистом, который предоставляет следующие данные: лемма термина и отношения термина с другими терминами в тезаурусе (в качестве основного отношения рассматривается гипероним-гипоним).

Сам процесс построения тезауруса состоит из нескольких взаимосвязанных этапов.

Первый этап — формирование словаря. Словарь — первоначальные множества ключевых слов. При этом рассматривается представительный массив наиболее информативных для данной предметной области документов. Выбираются слова, употребляемые в них, устанавливается частота употребления слов, и учитываются все формы, которые могут иметь слова.

Второй этап — формирование множества ключевых слов из словаря. При отборе ключевых слов учитывается их информативность, которая определяется исходя из частоты встречаемости слова, его роли в этой предметной области.

Процесс выбора ключевых слов достаточно сложно формализовать. Например, такой критерий, как частота встречаемости, не может быть абсолютным. Если слово встречается в текстах очень часто, это может означать, что оно выражает чрезмерно широкое понятие либо недостаточно четко определено, т. е. неинформативно.

Третий этап — формирование классов эквивалентности. Выделение дескрипторов. Автоматические информационно-поисковые тезаурусы являются составным элементом автоматического индексирования документов и запросов.

В словарной статье автоматического тезауруса, как правило, зафиксированы отношения условной эквивалентности, отношения подчинения и ассоциативные отношения.

Сопоставление терминов происходит по полному совпадению данных с леммой термина из тезауруса. При полном совпадении выделенный термин принимает на себя свойства тезауруса.

На четвертом этапе происходит выделение классов по следующему алгоритму.

1. У выделенной Lemma из таблицы ThesaurusLemma рассматривается свойство hyperonym из таблицы ThesaurusProperty.

2. Subject из строки, которая имеет свойство hyperonym у выделенной Lemma, будет классом, а Lemma — подклассом.

3. Ищем выделенный Subject из таблицы ThesaurusProperty в столбце Lemma из таблицы ThesaurusLemma. Если Subject и Lemma полностью совпадают, то возвращаемся к шагу 1 и начинаем выделять надклассы у Subject.

4. Если у выделенного Subject с Lemma совпадений не найдено, то на этом шаге выделение классов останавливается.

На пятом этапе рассматриваются термины, которые отсутствуют в тезаурусе. К ним применяется методика слабоиерархической онтологии. Выделенные термины объединяются в слабоиерархическую онтологию.

Основанием для объединения типа родовидового было вхождение термина из среднечастотной зоны в словосочетание в качестве главного компонента, например: воздействие => => антропологическое воздействие. Термины, которые входят в выделенные словосочетания в качестве зависимых, позволяют объединять словосочетания в ассоциативные группы, например: почва <= эрозия почвы / плодородие почвы / дефляция почвы.

2.4. Автоматическое формирование экземпляров

Выделение экземпляров можно разбить на два этапа. На первом происходит определение последнего элемента в цепочке дерева классов по следующему правилу: если Lemma из таблицы ThesaurusLemma не имеет совпадений в столбце Subject таблицы ThesaurusProperty, то термин из столбца Lemma является последним в цепочке классов.

На втором этапе осуществляется непосредственное определение экземпляров. Для выделения экземпляров из текста были разработаны следующие лингвистические шаблоны: существительное + цифра, существительное + буква + цифра, существительное + буква, существительное + существительное + буква, существительное + существительное + цифра.

На начальном этапе термины по выделенным выше лингвистическим шаблонам из таблицы FilteredWord сопоставляются с последним элементом в цепочке классов. Сопоставление происходит по полному совпадению существительных.

Заключение

В статье рассмотрен подход к автоматизации процесса построения онтологии по текстам предметной области на основе лингвистических шаблонов, тезаурусов и методики слабоиерархической онтологии.

В результате работы был создан инструмент автоматизированного создания онтологии предметной области. Полученная онтология представляет собой структурированную систему базы знаний на основе текста предметной области.

Данный инструмент позволит значительно сократить затраты времени на составление и редактирование онтологии и будет полезен во многих областях знаний, таких как компьютерная и корпусная лингвистика, лексикография, библиотечное дело, семантический поиск и многие другие. Разработанный инструмент находится в свободном доступе по адресу: http://auto-ontology.ru

В настоящий момент создается алгоритм по извлечению концептов из текстов. Концепты рассматриваются в качестве составных частей предложения. На основе полученных концептов будут формироваться элементы онтологии: экземпляры, свойства и связи.

Список литературы

1. *Мозжерина Е.С.* Автоматическое построение онтологии по коллекции текстовых документов // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции — RCDL. 2011. С. 293—298.

2. *Андреев И.А., Башаев В.А., Клейн В.В. и др.* Семантическая метрика терминологичности на основе онтологии предметной области // Автоматизация процессов управления. 2014. №4 (38). С. 76—84.

3. *Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В.* Онтологии и тезаурусы : учеб. пособие. Казань ; М., 2006.

4. *Клещев А.С., Артемьева И.Л.* Математические модели онтологий предметных областей. Ч. 1: Существующие подходы к определению понятия «онтология» // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2001. №2. С. 20—27.

5. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем : учебник для вузов. СПб. : Питер, 2000.

6. *Андреев И.А., Башаев В.А., Клейн В.В.* Разработка программного средства для извлечения терминологии из текста на основании морфологических признаков, определяемых программой Mystem // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. М. : Физматлит. 2013. С. 1227—1236.

7. *NuGet* Gallery | LingvoNET — Библиотека для склонения и спряжения слов русского языка 1.1.0. URL: https://www.nuget.org/packages/LingvoNET/ (дата обращения: 18.02.2016).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5

Пленарные доклады

Колесников А.В., Листопад С.В. Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений 8

Осипов Г.С. Знаковые модели как альтернатива символьным 56

Фоминых И.Б., Пожидаев А.К., Романчук С.В. Имитация рассуждений в интеллектуальных системах мягкого и жесткого реального времени 69

Плесневич Г.С. Спецификация темпоральных отношений в онтологиях для потоков работ 80

Тарасов В.Б. От спецификации когнитонов и инженерии интенций к обобщенной архитектуре деятельности агентов 94

Ярушкина Н.Г. Нечеткое моделирование временных рядов метрик программного обеспечения 114

Секция 1. **Методы и модели гибридных и интегрированных интеллектуальных систем**

Барзенков А.В., Данишевский В.И., Кириков И.А., Румовская С.Б. Тенденции развития методов заочного взаимодействия экспертов 122

Березкин Д.В., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е. Подходы к построению гибридных хранилищ данных для информационных систем 130

Еремеев А.П. Развитие аппарата таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа 137

Звонков В.Б. Нейроэволюционный подход в задаче макроэкономического анализа и прогнозирования временных рядов 148

Кириков И.А., Петренко Е.В., Румовская С.Б., Суворов К.В. Тенденции развития искусственных гетерогенных систем..... 158

Колесников А.В., Листопад С.В., Данишевский В.И., Суворов К.В. Технологии визуального управления и когнитивной графики в функциональных гибридных интеллектуальных системах поддержки принятия решений 166

Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю., Петровский А.Б., Дородных Н.О. Реализация многометодного подхода к обработке индивидуальных предпочтений 173

Мальчевская Е. А., Золотин А. А. Логико-вероятностный вывод в АБС: архитектура и примеры использования программного комплекса на языке C# 181
Колесников А. В., Меркулов А. А., Майтаков Ф. Г., Петренко Е. В. Синтез рабочих мест виртуальных гетерогенных коллективов на основе технологий ситуационных центров и WEB 4.0 188
Солдатов С. А. Обзор и перспективы развития средств разработки гибридных интеллектуальных систем 198

Секция 2. **Интеллектуальные системы в науке, образовании, медицине, экономике и промышленности**

Арефьев И. Б., Коровяковский Е. К. Принцип распознавания проблемных ситуаций на базе интегральных характетистик 206
Березкин Д. В., Терехов В. И. Применение метода когнитивной компьютерной графики для моделирования и оценки изменений геополитических границ 217
Бурдо Г. Б., Стоянова О. В. Принципы создания АСУ проектами наукоемких машиностроительных изделий 224
Doshchanova M. Yu. The use of modern methods of road safety on the basis of automatic recognition systems 232
Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б. Виртуальные коллективы для поддержки принятия решений в сложных задачах диагностики 240
Колесников А. В., Листопад С. В., Бабич А. В., Барзенков А. В., Денисова А. С. Технологии визуального управления и контроля в гибридных интеллектуальных системах по устранению аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики 248
Колодин А. Е., Колесников А. В., Меркулов А. А. Методы и алгоритмы гибридных интеллектуальных систем для оценки текущей ситуации и прогнозирования работы региональной Smart Grid сети 256
Коробейников А. Г., Федосовский М. Е., Алексанин С. А., Сухостат В. В. Автоматизированная обработка изображений при решении практических задач дефектоскопии 263
Ларин С. Н., Карпаев С. А. Алгоритмическая интерпретация моделей системы оперативного календарного планирования многономенклатурного производства 269
Леонова Ю. В., Федотов А. М. О подходе решения задачи тематической классификации авторефератов 277

Лукьянова Л. М. Проблема несистемности решений по организационно-техническому комплексу и средства ее преодоления ... 286
Тищенко В. И., Храмоин И. В. Метод анализа динамики развития сообществ как средство выявления научных трендов 294
Хабибулин Р. Ш., Гудин С. В. Многоагентная система адаптивного управления пожарными рисками на производственных объектах нефтегазовой отрасли 301

Секция 3. **Многоагентные системы, синергетический и роевой искусственный интеллект, распознавание образов**

Берман А. Ф., Николайчук О. А., Павлов А. И. Агентная система для моделирования мультидисциплинарных задач 309
Виноградов Г. П., Виноградова Н. Г. Эволюционные модели для систем с эндогенно формируемыми целями 316
Карпенко А. П. Эффективность гибридизации популяционных алгоритмов глобальной оптимизации 324
Нишанов А. Т., Рузибоев О. Б. Модификация решающего правила «шар Аполлония» в задаче классификации 331
Павлов А. В. Начальное порождение понятий при обработке образов на алгебре фурье-дуальных операций 337
Трофимов В. Б. О методе оценивания информативных признаков для распознавания образов 346
Тягунов О. А., Теплов М. А. Об одной задаче построения программных законов управления исполнительного уровня автономных мобильных роботов с использованием метода ситуационного управления и технологий экспертных систем 350
Тягунов О. А., Хасанов Р. Т. Об одной задаче планирования траектории автономного робототехнического комплекса на основе концепции «виртуального командира» 358
Филиппов А. А., Мошкин В. С., Ярушкина Н. Г., Шалаев Д. О. Разработка агента для управления знаниями с использованием графовой базы данных 360

Секция 4. **Нечеткие модели, онтологии, мягкие и интеллектуальные вычисления**

Абаян А. В., Карп В. П. Применение методик прямых и обратных задач для расширения профессиональных знаний эксперта в когнитивных исследованиях сложных динамических многопараметрических объектов 368

Березин А.И. Множество минимальных графов смежности: примеры использования программного комплекса на языке C# .. 377
Борзенков В.А. Метод сбора информации на основе шаблонов для разработки моделей предметных областей гибридных интеллектуальных систем 383
Вагин В.Н., Суворов А.В., Моросин О.Л. Методы нахождения количественных оценок правдоподобности аргументов 389
Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Кокоулина Л.О. Проект ИнС-ПОРТ: результаты и рекомендации по созданию порталов управления знаниями 398
Зотов М.А., Левенец Д.Г., Иванова А.В., Тулупьев А.Л. Статистическая сложность синтеза вторичной структуры алгебраических байесовских сетей: двухфакторный анализ 405
Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Интеграция нечетких онтологий и базы прецедентов в единой семантической среде 411
Мышев А.В. Технологии вычислительного интеллекта построения решений размытых задач на виртуальных решетках 419
Синюк В.Г., Панченко М.В. Правило modus ponens для одного класса нечетких систем MISO-структуры 426
Смирнов В.В. Построение квалиметрических оценочных моделей с использованием конструкторской документации 434
Торопова А.В. Аппарат диагностики согласованности данных в модели социально значимого поведения 441
Ярушкина Н.Г., Андреев И.А., Бексаева Е.А., Клейн В.В., Серков И.П. Автоматическое формирование дерева классов и экземпляров онтологии на основе тематического тезауруса и текста по предметной области 447

Научное издание

ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы III Всероссийской Поспеловской конференции
с международным участием

6—11 июня
Светлогорск, Калининградская область

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

Редакторы *Н. Н. Мартынюк, Л. Г. Ванцева*
Корректоры *Н. Н. Генина, Л. Г. Владимирова*
Компьютерная верстка *Г. И. Винокуровой*

Подписано в печать 20.05.2016 г.
Формат 60 × 90 $^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 28,8
Тираж 1000 экз. (1-й завод 150 экз.). Заказ

Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
236022, г. Калининград, ул. Гайдара, 6