



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

5/2013 (18)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 4

Апатиты
2013

Российская Академия Наук

ТРУДЫ

5/2013 (18)

издается с декабря 2010 г.

УДК 621.314

ISSN 2307-5252

ISBN 978-5-91137-262-0

Кольского научного центра РАН

Главный редактор - академик В.Т. Калинин

Заместители главного редактора

д.г.-м.н. В.П. Петров

д.т.н. В.А.Путилов

Редакционный совет

академик Г.Г. Матишов., академик Н.Н. Мельников,

академик Ф.П. Митрофанов, чл.-корр. В.К.Жиров,

чл.-корр. А.И. Николаев, д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,

д.э.н. Ф.Д. Ларичкин, д.т.н. В.А. Маслобоев,

д.т.н. В.А. Путилов, д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,

к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (ответственный секретарь)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

выпуск 4

Редколлегия серии "Информационные технологии"

профессор, д.т.н. В.А. Путилов (отв.редактор),

д.т.н. А.Г. Олейник (зам.отв.редактора),

д.ф.-м.н. А.П. Афанасьев, д.т.н. В.А. Маслобоев

184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, д.14.

Кольский научный центр РАН

Тел.(81555)79226. Факс (81555)76425

E-mail: admin@admksk.apatity.ru <http://www.kolasc.net.ru>

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт информатики и математического моделирования технологических
процессов Кольского научного центра Российской академии наук, 2013
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук, 2013

Серия «Информационные технологии» представляет результаты исследований и разработок в области создания и развития методов, моделей, информационных технологий и систем поддержки решения задач в широком спектра областей деятельности. Представленные в настоящем выпуске результаты получены как в ходе плановых научно-исследовательских работ ИИММ КНЦ РАН, так и в рамках ряда проектов, выполняемых при поддержке целевых программ и РФФИ. Ряд работ выполнен при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета, а также исследователей других научных и образовательных учреждений.

Сборник адресован специалистам в области создания и практического использования информационных систем и технологий в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам вузов соответствующих специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	9
В.А. Путилов А.В. Маслобоев Средства информационного мониторинга и моделирования глобальной безопасности в Баренцевом/Евро-Арктическом регионе	10
С.Ю. Яковлев Современные тенденции в управлении безопасностью сложных систем	29
А.В. Вицентий Применение дистанционного зондирования земли и космических технологий для развития арктических и субарктических территорий Российской Федерации	40
И.О. Датьев А.С. Шемякин Информационные системы для извлечения данных о перемещениях мобильных устройств	46
Ю.В. Каткалов А.Я. Сахаров Система передачи данных для сети геофизических станций	64
М.Г. Шишаев Т.А. Порядин Проблема формирования эффективных картографических интерфейсов информационных систем для задач управления территориями	69
П.А. Ломов М.Г. Шишаев Визуализация OWL-онтологий на основе когнитивных фреймов	77
М.Г. Шишаев П.А. Ломов В.В. Диковицкий Формализация задачи построения когнитивных пользовательских интерфейсов мультипредметных информационных ресурсов	90
П.А. Коробейников, М.Г. Шишаев Исследование семантической структуры навигационных интерфейсов типовых веб-ресурсов	98
А.А. Рыженко Р.Ш. Хабибулин Распределенная система индивидуального оповещения в случае ЧС на крупных промышленных площадках	103
А.А. Зуенко Ускорение алгоритмов логического вывода на ограничениях	110
А.А. Зуенко А.А. Алмамаев Поисковые запросы на основе операций с логическими векторами	119
А.А. Зуенко Программная реализация алгоритмов логико-вероятностного анализа на основе матричных и метрических свойств АК-объектов	125

С.С. Ковалёв М.Г. Шишаев	Идентификация спам-рассылок на основе маршрутной информации сообщений.....	138
А.С. Неведров А.Г. Олейник	Организация распределенной исполнительской среды для повышения эффективности моделирования сложных производственных процессов	145
И.Е. Кириллов И.Н. Морозов А.Г. Олейник	Разработка моделей экспресс-анализа обогатительных процессов на основе нейросетей и нечеткой логики	152
Д.В. Рябов А.В. Вицентий	Анализ вычислительных возможностей GPU Tesla C2050	160
В.В. Бирюков А.А. Петров	Информационное обеспечение разработки и оптимизации технологических процессов сохранения и освоения рудных и техногенных месторождений	169
В.Ф. Скороходов Р.М. Никитин А.С. Степанникова А.Г. Олейник	Использование средств инженерного анализа для исследования распределения минералов в продуктах обогащения нефелиновой флотации	176
В.В. Бирюков А.Г. Олейник А.С. Опалев А.В. Щербаков	Модернизация технологии обогащения железных руд на ОАО «Олкон» с использованием имитационного моделирования	183
А.А. Туз В.Н. Богатилов	Построение модели процесса измельчения в агрегате непрерывного действия с замкнутым циклом ОАО «КОВДОРСКИЙ ГОК» с применением нейросетевых моделей	189
Д.Н. Халиуллина В.Н. Богатилов А.В. Горохов	Исследование динамики процессов развития малого предприятия на основе когнитивного моделирования	199
О.В. Кудинова Д.Н. Халиуллина	Создание шаблонов имитационной модели прогнозирования трудовых ресурсов с помощью онтологических описаний предметной области	208
С.Н. Малыгина, А.А. Менькова	Имитационная модель кадровой потребности на примере торговой отрасли Мурманской области	217
Ж.В. Логинова, Д.Н. Халиуллина	Разработка системно-динамической модели кадровой потребности горнодобывающей отрасли на примере Мурманской области	223
В.В. Белош В.В. Быстров С.В. Дмитриев	Программный модуль автоматизированной обработки документов приемной комиссии вуза	230

Russian Academy of Sciences

5/2013 (18)

UDK 621.314
ISSN 2307-5252
ISBN 978-5-91137-262-0

transactions

Kola Science Centre

Editor in Chief - Academician V.T.Kalinnikov
Deputy editor in Chief:
Doctor of Geology and Mineralogy V.P.Petrov
Dr. of Sciences B.V.Efimov

Editorial Council of RAS:
Academicians:
G.G.Matishov, N.N.Melnikov, F.P.Mitrofanov.
Corresponding Members of RAS:
V.K.Zhirov, A.I.Nikolaev.
Dr. of Sciences:
Yu.L.Voitekhovskiy, F.D.Larichkin, V.A.Masloboev,
V.A.Putilov, E.D.Tereshchenko,
Ph.D. A.N.Vinogradov (executive secretary)

INFORMATION TECHNOLOGIES series 4

Editorial council of the «Information Technologies»
series
Prof., D.Sc. V.A. Putilov (Editor-in-Chief),
D.Sc. (Eng.) A.G. Oleynik (Vice Editor-in-Chief),
D.Sc. (Phys. and Maths) A.P. Aphanasyev,
D.Sc.(Eng.) V.A. Masloboev

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences
Tel.(81555)79226. Fax: (81555)76425
E-mail: admin@admksk.apatity.ru <http://www.kolasc.net.ru>

- © Establishment of Russian Academy of Sciences Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center RAS, 2013
- © Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 2013

A series of "Information Technology" represents the research and development results in the field of creation and development of methods, models, information technology and systems to support of tasks solving in a wide range of activity areas. The results which presented in this issue are obtained in the course of planned research works of IIMM KSC RAS and within a number of projects carried out with the support of special programs and RFBR. A number of papers are prepared with the assistance of research workers and students of Kola branch Petrosavodsk state university (Informatics and applied mathematics department) as well as researchers of other scientific and educational institutions.

The collection is intended for experts in development and practical application of information systems and technologies in various fields of administrative and industrial activity, as well as for teachers and students of corresponding specialities at the higher educational establishments.

CONTENTS

	Page
Introduction	9
V.A. Putilov A.V. Masloboev Global security information monitoring and modeling tools of Barents Euro-Arctic region	10
S.Yu. Yakovlev Modern trends in safety management of complex systems	29
A.V. Vicentiy Simulation model of spatial object movements with quasi- random routes	40
I.O. Datyev information systems for ad-hoc networks mobility data A.S. Shemyakin extraction	46
Ju.V. Katkalov Data transmission system for geophysical networks	64
Ja.A. Sakharov	
M.G. Shishaev Problem of effective map-based information system's interface T.A. Poryadin formation for territories management tasks	69
P.A. Lomov Visualization of OWL-ontologies on the basis of cognitive M.G. Shishaev frames	77
M.G. Shishaev Formalization problem of constructing cognitive user interfaces P.A. Lomov for multidomain information resources	90
V.V. Dikovitsky	
P.A. Korobeynikov, Study of semantic structure of reference interface for typical G. Shishaev Web resources	98
A.A. Ryzhenko Distributed system of individual notification in case of R.Sh. Khabibulin emergency situations at the large industrial sites	103
A.A. Zuenko Accelerated algorithms of logical inference on constraints	110
A.A. Zuenko Retrieval requests using operations on boolean vectors	119
A.A. Almatov	
A.A. Zuenko Program Implementation of logic and probabilistic analysis based on matrix and metric properties of the NTA-objects	125
S.S. Kovalev Identification of spam campaigns on the basis of messages M.G. Shishaev routing information	138
A.S. Nevedrov Organization of the distributed execution environments to improve the A.G. Oleynik efficiency of complex industrial processes modeling	145

I.E. Kirillov I.N. Morozov A.G. Oleynik	Development of models based on neural networks and fuzzy logic for express analysis of ore-dressing processes	152
D.V. Ryabov A.V. Vicentiy	Exploring computational capabilities of GPU Tesla C2050	160
V.V. Birukov A.A. Petrov	Information support of technology processes development and optimization for ore and man-made deposits conservation and development	169
V.F. Skorokhodov R.M. Nikitin A.S. Stepannikova A.G. Oleynik	Use of engineering analysis tools for study of distribution of minerals in the concentration products of nepheline flotation	176
V.V. Birukov A.G. Oleynik A.S. Opalev A.V. Sherbakov	Upgrading of technology for iron ores concentration on JSC "Olcon" by using simulation	183
A.A. Tuz V.N. Bogatikov	Building a model of grinding in unit of continuous action with the closed cycle in JSC "Kovdorsky GOK" with using neural network models	189
D.N. Khaliullina V.N. Bogatikov A.V. Gorokhov	Research of dynamics of small enterprise development processes based on cognitive modeling	199
O.V. Kudinova, D.N. Khaliullina	Creating templates of simulation model for labour force balace prediction based on the ontological descriptions of subject area	208
S.N. Malygina A.A. Menkova	Simulation model of manpower needs by the example of the trading industry in the Murmansk region	217
Z.V. Loginova D.N. Khaliullina	Developing simulation model of recruitment needs in mining industry - evidence from Murmansk region	223
V.V. Belosh V.V. Bystrov S.V. Dmitriev	The software module of automated document processing students admission commission	230

ВВЕДЕНИЕ

В процессе становления и развития информационного общества информационные технологии все шире внедряются во все сферы человеческой деятельности, от государственного управления, до решения повседневных задач отдельными людьми. Активно развиваются методы и технологии обработки семантической информации, обеспечивающие возможности комплексного использования данных и знаний различных предметных областей при решении сложных междисциплинарных задач. К данному типу относятся, в частности, многие задачи управления территориями. Обеспечение системного анализа разнородных факторов и явлений необходимо для разработки и обоснования планов, а также мониторинга результатов деятельности, направленной на устойчивое функционирование и развитие социально-экономических систем Арктической зоны Российской Федерации. Критичность системного подхода к организации функционирования этих систем обусловлена природно-климатической, геополитической и социально-экономической спецификой территорий. Одной из приоритетных задач в сфере управления данными территориями является обеспечение безопасности (в широком смысле) всех видов реализуемой здесь деятельности, как непосредственно в процессе реализации, так и с точки зрения возможных последствий.

Многообразие задач управления компонентами социально-экономических систем определяет широту спектра исследований, направленных на разработку и создание соответствующих средств информационно-аналитической поддержки. В этот спектр входят как разработка методов и моделей обработки и передачи информации, так и создание технологий эффективного использования имеющихся разнородных информационных ресурсов различными категориями пользователей.

В качестве передовых технологий, обеспечивающих интеграцию разнородных информационных ресурсов и создание адекватных средств информационно-аналитической поддержки задач управления компонентами региональных социально-экономических систем можно отметить: сетевые технологии, включая технологии интеграции мобильных устройств в единое информационное пространство региона; мультиагентные технологии, обеспечивающие высокую вариабельность и адаптивность получаемых на их основе решений; технологии имитационного моделирования, обеспечивающие оперативный анализ вариантов развития исследуемых процессов; технологии онтологического моделирования, позволяющие эффективно оперировать семантической информацией и др. Следует отметить, что в результате интеграции таких технологий достигается синергетический эффект, обеспечивающий получение решений высокого качества.

Настоящий выпуск – четвертый в серии «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН. Вошедшие в него работы, в основном, представляют результаты исследований членов научной школы, сформировавшейся в Институте информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН. Ряд работ выполнен при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского госуниверситета, а также в сотрудничестве с исследователями других научных и образовательных учреждений.

УДК 004.89, 004.942, 338.24

А.В. Маслобоев, В.А. Путилов

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В БАРЕНЦЕВОМ/ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ*

Аннотация

В работе представлены результаты исследований и разработок в области создания и использования средств информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью в Баренцевом/Евро-Арктическом регионе. Рассматриваются состояние, особенности технологической реализации, перспективы трансграничных ИТ-проектов в области информационного мониторинга и моделирования глобальной безопасности арктических регионов.

Ключевые слова:

информационная поддержка, мониторинг, моделирование, глобальная безопасность, арктический регион, агентные технологии.

A.V. Masloboev, V.A. Putilov

GLOBAL SECURITY INFORMATION MONITORING AND MODELING TOOLS OF BARENTS EURO-ARCTIC REGION

Abstract

The paper represents research issues and work-out results in the field of software engineering and application for global security management information and analytical support of the Barents Euro-Arctic region. State-of-the-art, technological implementation framework features and perspectives of the transfrontier IT-projects in the field of global security information monitoring and modeling of arctic regions has been considered.

Key words:

information support, monitoring, simulation, global security, Arctic region, agent-based technologies.

1. Введение

В настоящее время Баренцев/Евро-Арктический регион (БЕАР) и Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) являются объектами сферы национальных интересов ведущих мировых держав (США, Норвегия, Канада, Дания, Китай, Южная Корея и др.). Это ослабляет позиции присутствия РФ в Арктике, владеющей значительными ее территориями, и формирует вектор угроз национальным интересам РФ в этом районе: геополитическим, социально-экономическим, оборонным, демографическим и экологическим. Повышение интереса к Российской Арктике обуславливает высокую актуальность темы

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №12-07-00138 «Разработка когнитивных моделей и методов формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью арктических регионов России»).

защиты интересов РФ в Арктической зоне и выводит задачу обеспечения глобальной безопасности развития арктических регионов России на передний план, позиционируя ее как самостоятельную проблему, требующую научной проработки.

Одним из приоритетных направлений государственной политики РФ в Арктике, согласно «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [1], является развитие сферы информационных технологий и связи. Реализация Арктической Стратегии по данному направлению предполагает создание комплексной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры для поддержки управления рискоустойчивым развитием территорий АЗ РФ и входящих в ее состав регионов. Однако анализ мер, осуществляемых РФ по развитию сферы информационных технологий для задач управления безопасностью (социально-экономической, промышленно-экологической, кадровой) в Российской Арктике, свидетельствует о том, что их эффективность существенно снижается, согласно исследованиям [2], в результате возникновения ряда проблем, связанных с:

- отсутствием современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющей осуществлять оказание услуг связи населению и хозяйствующим субъектам на всей территории АЗ РФ;

- необходимостью интеграции, обработки и анализа большого объема разноплановой информации для различных министерств и ведомств;

- необходимостью обеспечения согласованности информационного взаимодействия субъектов регионального управления и структур безопасности в едином информационном пространстве АЗ РФ;

- ограниченным доступом к пространственно-распределенным источникам проблемно-ориентированной информации, необходимым для оперативной поддержки принятия решений по управлению комплексной безопасностью в чрезвычайных и кризисных ситуациях, ввиду организационной (ведомственной) разнородности субъектов регионального управления;

- отсутствием целостной информационно-аналитической среды для комплексного решения задач управления глобальной безопасностью арктических регионов, позволяющей повысить оперативность, достоверность и качество выдаваемой информации об обстановке в АЗ РФ.

Отечественных и зарубежных разработок, комплексно решающих перечисленные выше проблемы, в ходе исследований не выявлено. Современные системы информационной поддержки управления глобальной безопасностью региональных социально-экономических систем (РСЭС) разрабатываются, как правило, под конкретные задачи - например, связанные с метеорологией, энергетикой, морской деятельностью, кибербезопасностью или экологией, и, как правило, не предусматривают вариантов совместного использования.

Таким образом, актуальной и стратегически важной задачей является разработка новых и развитие существующих методов и средств информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью развития РСЭС АЗ РФ, подверженных влиянию множества разнородных внутренних и внешних факторов. В рамках данной задачи перспективным направлением исследований является создание когнитивных технологий про-активных

виртуальных систем, обеспечивающих основу для формирования и конфигурирования расширяемой многофункциональной информационной инфраструктуры безопасности арктических регионов, наделенной потенциалом к саморазвитию и самоорганизации. Информационно-аналитическая среда поддержки управления глобальной безопасностью арктических регионов, согласно [3], представляет собой комплекс проблемно-ориентированных, взаимосвязанных и взаимодействующих информационных и аналитических ресурсов и систем, а также технологическую и организационную инфраструктуру их создания и использования.

В статье рассматриваются существующие технологические решения и специализированные разработки в области информационного обеспечения управления различными аспектами глобальной (далее – региональной) безопасности в БЕАР и АЗ РФ. Представлены результаты исследований в области создания и использования средств информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием в АЗ РФ, реализуемых в виде мультипредметных веб-ориентированных информационных систем [4], основанных на знаниях, а также про-активных виртуальных систем [5] на базе когнитивных информационных технологий. В работе обсуждается состояние, особенности технологической реализации и перспективы трансграничных ИТ-проектов в области информационного мониторинга и анализа глобальной безопасности арктических регионов.

2. Постановка задачи

Анализ достижений отечественных и зарубежных научных школ на треке исследования проблем глобальной безопасности и устойчивого развития показывает, что в них недооценивается стремительно растущий потенциал информационно-коммуникационных технологий, суперкомпьютеров и интеллектуальных информационно-аналитических систем нового поколения [6], включая обучаемые нейронные сети и когнитивные информационные технологии. В связи с этим, информационно-аналитическая поддержка управления глобальной безопасностью развития РСЭС остается открытой научной проблемой.

Современный этап развития компьютерных наук обозначил новое перспективное направление в области создания технологий построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений - когнитивные информационные технологии [7]. Когнитивные технологии обеспечивают возможность формализации знаний об исследуемых объектах и процессах информатизации, анализ их структурной динамики и функциональной организации на основе имитации поведения, а также возможность виртуализации контуров управления данными объектами и процессами. Методология когнитивного моделирования ориентирована на анализ и поддержку принятия решений в сложных ситуациях для систем, характеризующихся многоаспектностью происходящих в них процессов и их взаимосвязанностью, динамичностью и высокой степенью неопределенности, отсутствием достаточной количественной информации о динамике протекающих в них процессов, что вынуждает переходить к качественному анализу таких систем. В силу указанных особенностей социально-

экономические системы относятся к классу слабоструктурированных систем. При этом модели формируются на основе формализации субъективных представлений (знаний) экспертов о системе и/или ситуации в виде концептуальных моделей, являющихся базой для создания полимодельных комплексов, входящих в состав средств поддержки принятия решений по управлению сложными динамическими системами и процессами. Это обуславливает целесообразность применения когнитивного подхода и реализующих его технологий, в частности, технологии мультиагентных систем [5], для создания средств информационно-аналитической поддержки и автоматизации процессов управления глобальной безопасностью РСЭС.

Обеспечение приемлемого уровня безопасности функционирования и развития РСЭС и их компонентов требует согласованного по времени, ресурсам и специфики ситуации информационного взаимодействия проблемно-ориентированных организационных структур, профиль деятельности которых связан с решением задач управления различными составляющими глобальной безопасности региона. Получение адекватного возникающим задачам управления региональной безопасностью эффекта в данном направлении представляется возможным на основе:

- формирования целостной многофункциональной информационно-аналитической среды поддержки управления глобальной безопасностью арктических регионов;

- виртуализации процессов управления региональной безопасностью средствами когнитивных мультиагентных технологий для ситуационного моделирования и координации деятельности субъектов безопасности;

- согласования контуров управления различными составляющими глобальной безопасности РСЭС на основе компьютерного моделирования для формирования допустимых траекторий безопасного развития региона и комплексной оценки угроз безопасности функционирования региональных подсистем и их компонентов;

- реализации сетевцентрического подхода [8] к формированию распределенной среды виртуальных когнитивных центров управления региональной безопасностью в чрезвычайных и кризисных ситуациях, обеспечивающей единый регламент взаимодействия и децентрализацию функций управления и принятия решений;

- научно-методической и программно-алгоритмической базы для создания проблемно-ориентированных мультиагентных систем информационно-аналитической поддержки задач управления региональной безопасностью.

3. Средства информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью РСЭС

В настоящее время создано большое количество ресурсов и технологий, обеспечивающих информационно-аналитическую поддержку ряда задач в области управления глобальной безопасностью. Большинство из них реализовано в виде информационно-аналитических систем мониторинга социально-экономического развития и поддержки принятия решений в кризисных ситуациях, а также веб-ресурсов, обеспечивающих субъектам

управления доступ к информационно-справочным ресурсам и нормативным документам на основе соответствующих информационных технологий.

Перечисленные типы систем являются разнородными по своей технологической платформе, функциональному назначению и компонентному составу. Большинство из них имеют централизованную архитектуру. Указанные особенности обуславливают их "слабую" интегрируемость и невозможность совместного использования для комплексного решения задач управления региональной безопасностью в единой информационной среде, ориентированной, главным образом, на обеспечение согласованного информационного взаимодействия субъектов управления и структур безопасности в независимости от их организационной разнородности и территориальной распределенности.

3.1. Мониторинговые информационно-аналитические системы поддержки принятия решений в кризисных ситуациях

Анализ показывает, что оптимальными инструментами проблемного мониторинга состояния показателей социально-экономического развития и кризисного реагирования являются ситуационно-кризисные и когнитивные центры [7]. Информационно-аналитическая поддержка реализации Арктической Стратегии [1] осуществляется при координирующей роли Совета Безопасности РФ за счет привлечения информационных ресурсов заинтересованных органов государственной власти и государственных научных учреждений с использованием системы распределенных ситуационных центров [6]. На рис. 1 представлена обобщенная структура и состав сети ситуационно-кризисных центров управления глобальной безопасностью РСЭС.

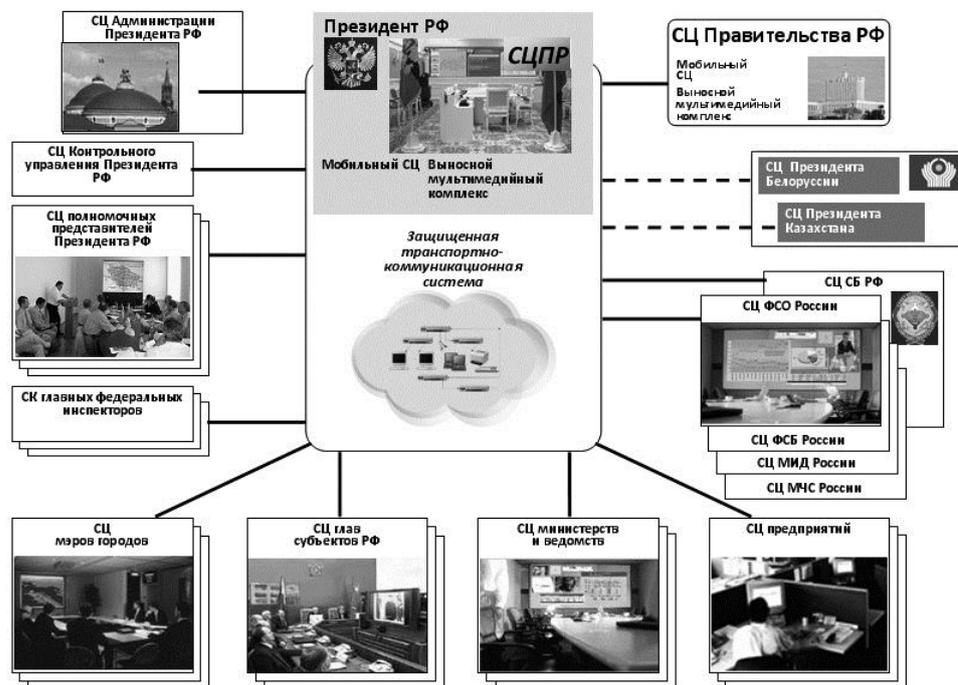


Рис. 1. Структура и состав сети ситуационно-кризисных центров управления глобальной безопасностью РСЭС

Вместе с тем, технология организации функционирования и информационного взаимодействия сети, действующих ситуационно-кризисных центров (СКЦ) имеет ряд слабых сторон, среди которых можно отметить следующие:

- отсутствие четкого определения СКЦ в системе государственного управления, его функциональной структуры, методического и информационного обеспечения;

- поддержка принятия решений на основе ретроспективной информации и архивных отчетных материалов;

- централизованная архитектура используемых информационных систем;

- функционально-ориентированная организация управления, наличие жестких вертикальных связей и, как следствие, отсутствие возможности децентрализованной поддержки принятия решений по управлению безопасностью в кризисных ситуациях;

- технологическая и организационная (ведомственная) разнородность функциональных и информационных компонентов СКЦ;

- проблемный мониторинг состояния исследуемой системы в режиме, частично приближенном к реальному времени, что снижает оперативность поддержки принятия решений, например, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;

- необходимость автоматизированного выбора и реализации методов и средств анализа и обработки данных в условиях известных источников первичной информации для информационной поддержки принятия решений в кризисных ситуациях;

- отсутствие единого регламента информационного взаимодействия и обмена данными в силу организационной разнородности источников оперативной информации;

- необходимость ориентации СКЦ на различные категории пользователей (реализация концепции *«user as expert»* [9]).

СКЦ и интегрируемые в их составе ведомственные информационные системы оснащены современными программно-аппаратными комплексами и средствами доступа к проблемно-ориентированным базам и картотекам данных. Определенный интерес в приложении к задачам управления глобальной безопасностью арктических регионов представляют специализированные программные решения для ситуационных центров. Эти решения получены в рамках реализации совместных проектов Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Национального института исследований глобальной безопасности и Научно-исследовательского центра информатики при МИД России. Данные разработки направлены на создание мониторинговых информационно-аналитических систем (ИАС), ориентированных на:

- информационную поддержку принятия решений по анализу международных конфликтов. В этом направлении разработаны: программный комплекс «Дипломат», ИАС «Истра-2006», ИАС «Ангара», ИАС «Прогноз МК» которые могут использоваться как автономно в качестве мониторинговых ИАС, так и в качестве программной базы для ряда прикладных информационных технологий (анализа международных конфликтов, анализа кризисных ситуаций, анализа террористических актов и т.д.).

– информационную поддержку принятия решений в СКЦ. В этом направлении разработана Экспертная система поддержки принятия решений в кризисных ситуациях (ЭС ПРКС), используемая в интересах сбора информации об обстановке совместно с мониторинговой ИАС «Ангара». ЭС ПРКС используется в Ситуационно-кризисном центре МИД России и в Международном ситуационном центре анализа агрессивных воздействий на окружающую среду.

Подробное описание перечисленных программных решений представлено в работе [6].

В составе СКЦ также широко используются специальные геоинформационные системы и системы пространственного позиционирования для проблемного мониторинга состояния различных пространственно-распределенных объектов безопасности и связанных с их функционированием событий и кризисных ситуаций. Однако, практика показывает, что применимость данного класса систем из-за сложности их эксплуатации не всегда оправдана.

Развитием технологии построения и организации работы СКЦ является концепция создания и использования когнитивных центров [7], как информационных систем для прогнозирования и стратегического планирования развития РСЭС, предложенная в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Прототип системы проектирования будущего на основе использования когнитивных центров реализован на специализированном сайте Центра компьютерного моделирования и экспертного анализа <http://www.razvitie-plan.ru> Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Когнитивный центр обеспечивает поддержку управления развитием сложных децентрализованных систем, таких как регион, территория, отрасль, предприятие. Основу когнитивного центра составляет метод вычислительного эксперимента, который подразумевает использование современных информационных технологий и прикладной математики для моделирования поведения сложных динамических систем различной природы, к которым относятся и социально-экономические системы.

Другим подходом, обеспечивающим существенный эффект при решении задач синтеза траекторий рискоустойчивого развития РСЭС с учетом необходимости интеграции, обработки и анализа большого объема разноплановой информации, является формирование сети виртуальных когнитивных центров (ВКЦ) управления безопасностью РСЭС в чрезвычайных и кризисных ситуациях. Основными задачами ВКЦ являются моделирование и стратегическое прогнозирование, планирование, построение моделей согласованного взаимодействия субъектов управления для решения конкретных управленческих задач в различных областях, в том числе и в сфере информационной поддержки управления безопасностью развития регионов, как сложных социально-экономических систем.

Технологической основой формирования ВКЦ являются мультиагентные технологии, обеспечивающие возможность информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений и повышения уровня координации субъектов регионального управления на базе виртуализации процессов взаимодействия между ними. В таком ключе ВКЦ можно позиционировать как некоторое облачное решение, что делает его доступным не

только субъектам управления различного уровня и экспертам, но и всем заинтересованным государственным и коммерческим организациям. Так, например, ВКЦ может быть реализовано в виде публичного облака, построенного в архитектуре SaaS (Software as a service) или PaaS (Platform as a service). Облачные и веб-сервисы ВКЦ позволят субъектам регионального управления использовать современные когнитивные информационные техно-логии и инструменты моделирования для выработки согласованных стратегий, и принятия управленческих решений в кризисных ситуациях в условиях неопределенности и риска. Схема работы ВКЦ как облачного сервиса изображена на рис. 2.

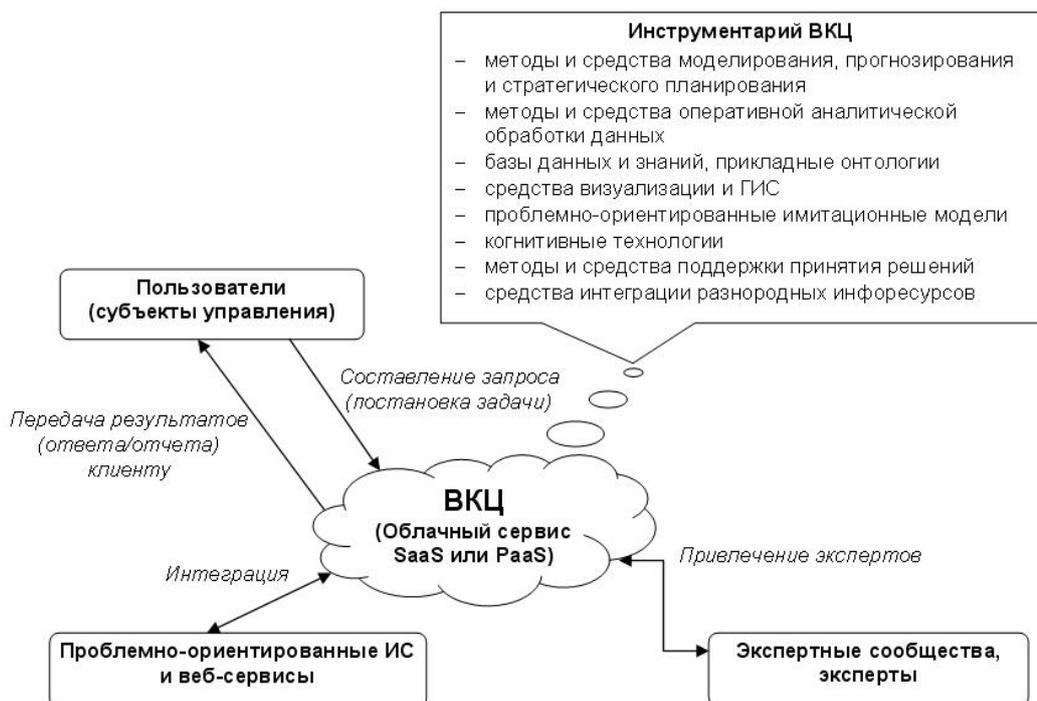


Рис. 2. Схема работы ВКЦ на базе облачных технологий

Основной инструментарий ВКЦ включает средства оперативного, разностороннего анализа текущих бизнес- и социально-экономических процессов, а также средства оперативного прогнозирования и стратегического планирования социально-экономического развития для задач информационной поддержки управления региональными системами в слабоструктурированных кризисных ситуациях. Кроме того, в состав основного инструментария ВКЦ входят технологии поддержки коллективной работы удалённых специалистов-экспертов в режиме реального времени (онлайн) при оказании информационных услуг субъектам регионального управления, бизнес-структурам различных отраслей и сфер деятельности, связанных с предоставлением средств оперативной аналитической обработки текущей ситуации или процессов, средств прогнозирования, проблемно-ориентированного поиска информации для поддержки принятия оптимальных управленческих решений по преодолению кризисных и чрезвычайных ситуаций.

ВКЦ – следующий этап на пути создания компьютерных тренажеров (тренажерно-моделирующих комплексов) для региональных и муниципальных чиновников, менеджеров, системных аналитиков, военных, предназначенных для интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению региональными социально-экономическими системами в слабоструктурированных ситуациях.

В условиях беспрецедентной информационной глобализации информационно-коммуникационные технологии и кибербезопасность становятся важнейшими факторами обеспечения стратегических интересов страны на международной арене. Отсюда - тесная взаимосвязь информационной и составляющих глобальной безопасности не только России и арктических регионов, но и всех стран. Данный фактор значительно актуализирует проблематику обеспечения информационной безопасности для национальных интересов в контексте глобальной безопасности [10]. Аналитический обзор технологических решений и разработок поддержки задач управления кибербезопасностью для защиты национальных интересов представлен в работах [10-12].

3.2. ИТ-проекты в области информационного обеспечения глобальной безопасности в БЕАР и АЗ РФ

В настоящее время в Баренцевом/Евро-арктическом регионе (БЕАР) наблюдается интенсификация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию многофункциональных веб-ориентированных виртуальных информационных систем комплексного освещения и мониторинга обстановки в Арктике. В реализации такого класса систем принимают участие как представители зарубежных арктических государств (Норвегии, Дании, Финляндии), так и российские разработчики и ученые в лице институтов РАН, подведомственных учреждений МинОбороны РФ, заинтересованных коммерческих структур. Наибольшее внимание среди реализуемых в БЕАР ИТ-проектов, направленных на информационное сопровождение процессов развития и освоения арктических территорий, заслуживают следующие:

- *Открытый информационный портал BarentsWatch* – <http://www.barentswatch.com> (разработчик Kongsberg Spacetec. AS, Норвегия);
- *Система освещения обстановки в Арктике* (разработчик ОАО «Концерн РТИ Системы», Россия) [13];
- *Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)* - <http://www.esimo.ru> (разработчик ВНИИГМИ-НЦ Росгидромета, Россия);
- *Единая национальная диспетчерская служба Арктики (ЕНДС Арктика)* - www.endsnw.ru (разработчик Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Россия)
- *Мультипредметный Арктический портал RU-Arctic* – <http://www.ru-arctic.net> (разработчик ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН, Россия);
- *BarentsNet* – социальная сеть профессиональных коммуникаций в области развития Севера и Арктики, объединяющая заинтересованные бизнес-сообщества, государственные структуры и экспертов из различных предметных

областей и обеспечивающая повышение эффективности их информационного взаимодействия в рамках задач управления процессами освоения арктических территорий (совместный инициативный проект НИИГлоб, ИИММ КНЦ РАН и САФУ) [14].

Далее будут кратко рассмотрены особенности данных ИТ-проектов.

Система VarentsWatch предназначена для обработки, анализа и мониторинга текущей информации и исходных архивных данных по областям: климат/окружающая среда, морские ресурсы, морская деятельность, нефтегазовая отрасль, морское право/регулирование, получаемая на основе мониторинга судоходства, рыбного промысла, уровней загрязнения и метеорологических условий в режиме реального времени в целях повышения эффективности рационального использования и воспроизводства природных ресурсов на акватории Баренцева моря, а также управления экологической и эксплуатационной безопасностью прибрежных районов и морских арктических территорий.

«Система освещения обстановки в Арктике» ориентирована на комплексный проблемный мониторинг и анализ информации о состоянии развития арктических территорий в четырех основных измерениях. Она представляет собой совокупность средств, поддерживающих непрерывный и согласованный по задачам, целям, месту и времени процесс сбора, обработки, накопления и распределения информации о морской (надводной и подводной), воздушной и радиоэлектронной обстановке в контролируемых районах, а также об обстановке в космическом пространстве.

Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) представляет собой национальную информационную систему, предназначенную для обеспечения морской деятельности в РФ комплексной информацией об обстановке в Мировом океане, предоставляемой ведомственными информационными системами федеральных и региональных органов исполнительной власти и институтов РАН. В разрезе задач мониторинга морской деятельности и обеспечения экологической безопасности в Баренцевом Евро-арктическом регионе ЕСИМО реализует следующие основные функции:

- 1) информационное и технологическое взаимодействие ведомственных информационных систем;
- 2) формирование и интеграция проблемно-ориентированных информационных ресурсов;
- 3) обеспечение доступа к информации для исследования, освоения и использования акваторий Баренцева и Норвежского морей;
- 4) обмен с международными информационными системами.

Единая национальная диспетчерская служба Арктики (ЕНДС Арктики) создана в г. Архангельске на базе Центра космического мониторинга при Северном Арктическом федеральном университете им. М.В. Ломоносова. ЕНДС Арктики ориентирована на непрерывный мониторинг ситуации в Арктике в онлайн-режиме, а также на решение задач, связанных с оперативным получением данных дистанционного зондирования Земли, обеспечивающих мониторинг природных ресурсов, отраслей экономики, экологических проблем и чрезвычайных ситуаций на территории АЗ РФ.

Функциональная организация ЕНДС Арктики основана на использовании специализированных систем мониторинга подвижных и стационарных объектов на базе спутниковых технологий ГЛОНАСС и сервисов веб-ориентированных геоинформационных систем. Инфраструктура ЕНДС Арктики включает телематическую платформу, которая оперирует навигационной информацией поступающей с мобильных навигационных терминалов.

Арктический портал RU-Arctic представляет собой мультипредметный веб-ресурс и предназначен для обеспечения информационных потребностей различных категорий пользователей в области социально-экономической обстановки и возможных вариантов социально-экономического развития арктических территорий РФ. Система RU-Arctic нацелена на оперирование согласованной текущей, ретроспективной и прогнозной информацией о социально-экономической системе территорий (структура экономики, демография, кадровый потенциал и др.) и природной среде (экологическая обстановка, природные ресурсы и т.д.) Российской Арктики.

В технологическую основу портала RU-Arctic заложены существующие и разрабатываемые информационные технологии распределенной обработки и анализа данных, методы интеллектуальной поддержки принятия решений, проблемно-ориентированные модели и инструменты моделирования, образующие вкпе комплекс средств информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью развития арктических регионов. Система RU-Arctic расширяет функциональные возможности рассмотренных выше аналогов и учитывает пятое измерение при реализации проблемного мониторинга обстановки в Российской Арктике – социально-экономическую составляющую, стратегически значимую с точки зрения обеспечения устойчивого развития арктических регионов. Система RU-Arctic может существенно дополнить возможности «Системы освещения обстановки в Арктике», что позволит получить качественно новые решения в области создания комплексной системы управления комплексной безопасностью арктических территорий во всех пяти измерениях. Функциональная структура и компоненты системы RU-Arctic представлены на рис. 3.

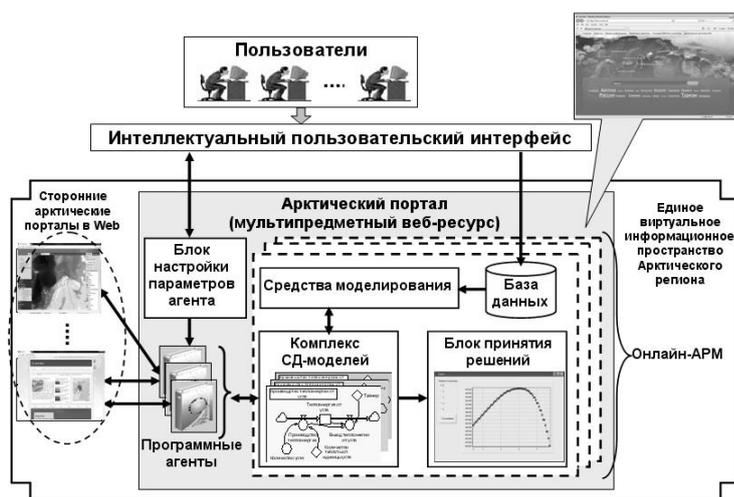


Рис. 3. Функциональная структура и компоненты системы RU-Arctic.net

Сравнительная характеристика двух наиболее ярких систем-аналогов RU-Arctic и BarentsWatch представлена в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сравнительная характеристика систем RU-Arctic и BarentsWatch
(целевая ориентация)

Система Характеристика	Открытый информационный портал BarentsWatch	Мультипредметный веб-ресурс RU-Arctic
Цель проекта (системы)	Установить национальную систему мониторинга, способную повысить уровень безопасности, качество и эффективность в отношении окружающей среды, безопасности и природопользования	Поддержка рискоустойчивого функционирования систем жизнеобеспечения и экономической деятельности в арктических регионах в целях обеспечения региональной безопасности
Назначение	Освещение экологической обстановки в Арктике	Освещение социально-экономической и экологической обстановки в арктических регионах
Цели создания	Открытая часть - гражданские / Закрытая часть - военные	Открытая часть – гражданские / Закрытая часть – доступ к проблемно-ориентированной информации, средствам ее обработки и анализа на коммерческой основе
Целевая аудитория пользователей	Эксперты в области защиты окружающей среды, морской навигации, метеорологии, нефтегазовой отрасли, освоения океанических ресурсов и т.п.	Органы исполнительной власти различного уровня, системные аналитики, заинтересованные предприятия и коммерческие структуры, гражданские лица, пограничники, СКЦ управления безопасностью и т.д.

Таблица 2

Сравнительная характеристика систем RU-Arctic и BarentsWatch
(функциональный аспект)

Система	BarentsWatch	RU-Arctic.net
Функциональные возможности		
Структурированное хранение информации, обеспечение ее целостности и актуальности	+	+
Разграничение прав пользователей на доступ к информации и оперирование ею	+	+
Предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач	-	+
Предоставление средств оперативной аналитической обработки информации и прогнозирования с использованием средств компьютерного моделирования	-	+
Визуализация информации с территориальной привязкой на основе интерактивных электронных карт	+	+
Интеграция разнородных информационных ресурсов о состоянии арктических территорий	+	+
Обработка спутниковых данных в реальном времени	+	-
Проблемно-ориентированный поиск и семантический анализ информации	-	+

Построение единой электронной социальной сети BarentsNet с целью создания виртуальной интеграционной площадки по сотрудничеству в сфере управления развитием арктических территорий является как одним из главных пунктов новой Киркинесской декларации, так и важным этапом на пути создания единого информационного пространства Арктической зоны РФ при реализации «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года».

Система BarentsNet является надстройкой над существующей системой RU-Arctic и будет на начальном этапе разработки обеспечивать базовый набор функций по предоставлению доступа к различным источникам проблемно-ориентированной информации и веб-сервисам, заложенный в известные системы-аналоги, реализующие функционал социальных сетей в Интернет, такие как Facebook, MySpace, Google+ или ВКонтакте. К базовым функциям в данном случае относятся:

- возможность создания индивидуальных профилей;
- возможность взаимодействия пользователей посредством внутренней почты, комментариев и т.п., а также обмена инфоресурсами;

- возможность создания тематических виртуальных сообществ - групп пользователей по интересам (открытого или закрытого типа);
- разграничение прав пользователей на доступ к информации и оперирование ею;
- проблемно-ориентированный информационный поиск (люди, группы, идеи, контакты, профили, проекты и т.д.).

Вместе с тем, планируется реализация специфических функций. Речь идет об использовании средств аналитической обработки данных на базе компьютерного моделирования, средств интеграции разнородных информационных ресурсов, а также систем распределенного семантического поиска информации. Перспективным аналогом VarentsNet без учета арктической специфики является современная виртуальная сеть профессиональных контактов LinkedIn (<http://www.linkedin.com>), имеющая сервисно-ориентированную архитектуру и созданная на базе передовых веб-технологий с поддержкой облачных и веб-сервисов.

В основе системы VarentsNet планируется также реализация модели B2G (business-to-government), способствующей развитию частного государственного партнерства на территории АЗ РФ и входящих в ее состав регионов посредством современных инфокоммуникационных технологий, что позволит в перспективе достичь качественно нового уровня развития региональной экономики и инновационного сотрудничества в БЕАР. Девиз проекта по созданию системы VarentsNet - реализация концепции «от контактов к контрактам».

4. Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью «Безопасный Виртуальный Регион»

Для информационной поддержки принятия решений и повышения уровня координации субъектов региональной безопасности разработан прототип виртуальной сетевидческой мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления глобальной безопасностью арктических регионов «Безопасный Виртуальный Регион» (МИАС БВР) [3] с унифицированной точкой доступа на основе веб-технологий.

Специфическими особенностями МИАС БВР являются: мультиагентная реализация, сетевидческая организация, децентрализация функций управления, наличие средств интеграции разнородных информационных и исполнительных ресурсов, синергетические и когнитивные свойства (самоорганизация компонентов на основе коалиционных взаимодействий когнитивных агентов и адаптация к динамике внешней среды).

МИАС БВР, основанная на разработанных в ходе исследований проблемно-ориентированных когнитивных моделях и информационных технологиях, представлена следующими практическими разработками (рис. 4):

1) *Распределенная агентная платформа* [15], представляющая собой совокупность функциональных модулей, обеспечивающих создание и использование полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью, а также компонентов среды исполнения и поддержки функционирования когнитивных программных агентов в распределенной информационной среде. В рамках агентной платформы реализуется информационная

технология дистанционного формирования моделей и управления процессом имитационного моделирования, обеспечивающая синтез имитационных моделей сложных систем на базе системно-динамических моделей их типовых составляющих - модельных шаблонов. Это позволяет расширять состав полимодельных комплексов для их последующего использования в процессе реализации аналитических, прогностических и когнитивных (познавательных) функций агентов системы. Архитектура агентной платформы также включает функциональные модули, реализующие внутреннюю логику функционирования агентов, протоколы межагентных коммуникаций, а также процедуры формирования коалиций агентов и модели управления их совместной деятельностью, алгоритмы миграции агентов, средства интеграции разнородных информационных ресурсов.

2) *Сетецентрическая мультиагентная система информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью*, представляющая собой множество взаимосвязанных активных программных компонентов, реализующих функции разнотипных агентов субъектов безопасности в виртуальной среде, общесистемных сервисов (сервис онтологий, сервис центров сертификации агентов и др.), а также специализированных системных служб, обеспечивающих интеграцию в систему разнородных информационных ресурсов. Агенты технически реализованы в виде локальных программ (.exe) и веб-сервисов. В качестве технологии реализации распределенной мульти-агентной среды использована технология CORBA. Базовые шаблоны программных агентов системы разработаны с помощью языка Java на базе платформа JADE (Java Agent Development Environment).

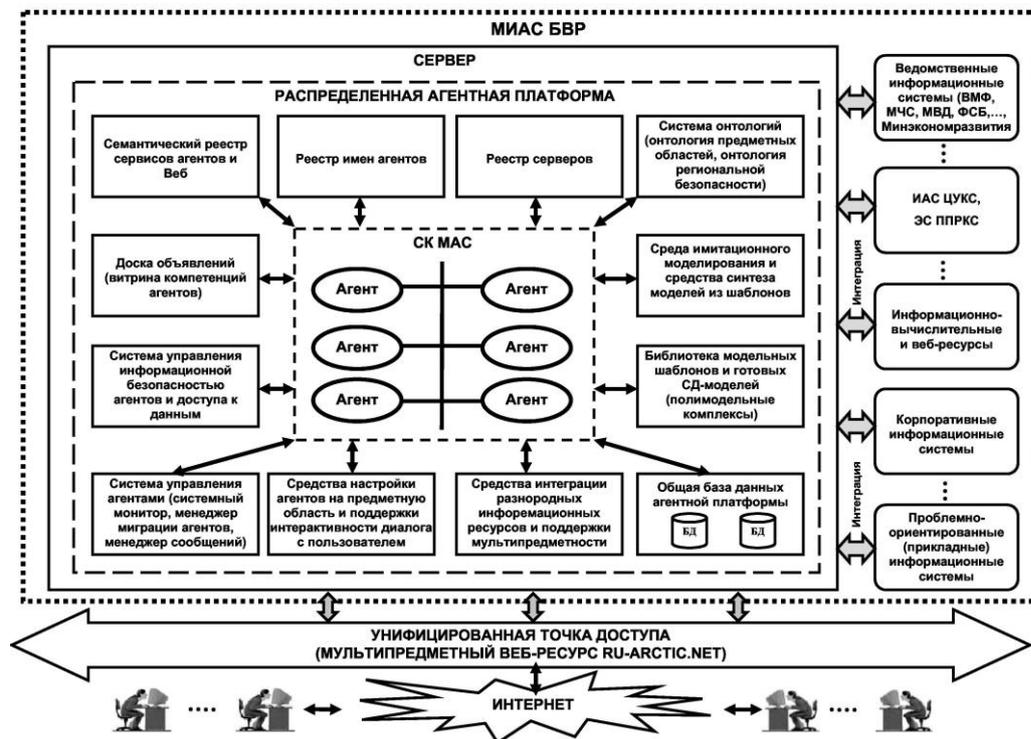


Рис. 4. Функциональные компоненты МИАС БВР

3) *Арктический Интернет-портал RU-Arctic*, представляющий собой мультипредметный веб-ресурс и обеспечивающий унифицированную точку доступа к ресурсам МИАС БВР на основе веб-технологий. Мультипредметная сущность портала обеспечивает возможность его использования различными категориями пользователей вне зависимости от профиля их деятельности и основывается на технологиях Semantic Web. Для этого в качестве моделей представления знаний в рамках системы используются онтологии различных предметных областей и ассоциированных с ними разнородных информационных ресурсов, а также средства их интеграции [16].

Для работы с картографическими источниками данных и визуализации пространственной информации с территориальной привязкой в рамках портала использован веб-ориентированный картографический сервер с открытым исходным кодом – GeoServer, предоставляющий доступ к открытым геоинформационным веб-сервисам [17].

4) *Комплекс проблемно-ориентированных имитационных моделей*, образующих полимодельные комплексы, используемые агентами системы в качестве аналитических ресурсов в составе своего имитационного аппарата для реализации прогностических функций и пополнения знаний о среде функционирования (когнитивная функция агентов). На их основе разработана интегрированная системно-динамическая модель глобальной безопасности развития РСЭС (на примере Мурманской области). Модель представляет собой комплекс композитных системно-динамических и агентных моделей промышленного потенциала региона, кадровой безопасности, инновационного потенциала региональной экономики и экологической системы. Для разработки системно-динамических и агентных моделей использовались инструментальные среды моделирования PowerSim и Anylogic. Созданные модели позволяют путем многократной имитации оценивать экономический и связанный с ним экологический риски различных сценариев развития региона.

5) *Онтология региональной безопасности*, построенная на основе разработанной формальной концептуальной модели интегрированной информационной среды поддержки управления глобальной безопасностью региона [18] и используемая в качестве базы знаний агентов системы. Созданная онтология реализована в терминах языка онтологического моделирования OWL.

В совокупности, данные практические разработки обеспечивают построение расширяемой многофункциональной виртуальной сетцентрической среды, образующей целостную информационно-аналитическую инфраструктуру безопасности региона на базе существующих и вновь создаваемых проблемно-ориентированных информационных ресурсов, а также средств автоматизированной обработки содержащихся в них данных.

Основное назначение МИАС БВР - удовлетворение информационных потребностей и обеспечение согласованного информационного взаимодействия субъектов и организационных структур безопасности посредством оперативного и своевременного предоставления соответствующих информационных ресурсов (данных) и сервисов для решения задач управления региональной безопасностью. Средством коммуникации субъектов безопасности с МИАС БВР и друг с другом являются их онлайн-автоматизированные рабочие места и их виртуальные представители в МИАС БВР - когнитивные программные агенты соответственно, функциональная структура и компонентный состав которых

непосредственно и взаимно влияют на архитектуру и функционирование МИАС БВР. Доступ к ресурсам МИАС БВР и виртуальное сотрудничество субъектов безопасности в единой информационной среде осуществляется через унифицированную точку доступа, реализованную в виде мультипредметного Арктического Интернет-портала RU-Arctic, в рамках которого представляется возможным связать действующие системы ситуационно-кризисных и виртуальных когнитивных центров управления безопасностью в Арктической зоне РФ. Также интегрировать в единое целое разнообразные информационные и аналитические ресурсы, необходимые для решения задач информационной поддержки управления развитием АЗ РФ.

Созданные в результате исследований и разработок средства информационно-аналитической поддержки смогут найти практическое применение в различных задачах управления региональной безопасностью в АЗ РФ. К основным областям их использования в БЕАР относятся поддержка принятия решений в сфере управления социально-экономической и промышленно-экологической безопасностью, а также информационное сопровождение функционирования региональных СКЦ мониторинга и прогнозирования социально-экономического развития.

6. Заключение

В ходе исследований проанализированы существующие отечественные и зарубежные разработки в области информационного обеспечения управления различными аспектами глобальной безопасности в БЕАР и АЗ РФ. Рассмотрены состояние, особенности технологической реализации и перспективы трансграничных ИТ-проектов в области информационного мониторинга и анализа глобальной безопасности арктических регионов. Вместе с тем, представлены результаты исследований в области создания и использования средств информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью арктических регионов, реализованных в виде мультипредметных веб-ориентированных информационных систем и про-активных виртуальных систем на базе когнитивных информационных технологий.

Проблемными полями, оказывающими «тормозящий» эффект на пути внедрения предлагаемых разработок в практическую деятельность субъектов региональной безопасности и во многом затрудняющими их использование, являются:

- 1) Несовершенство нормативно-правовой базы.
- 2) Сложность позиционирования виртуальных центров управления безопасностью в кризисных ситуациях в структуре государственного управления, как на региональном, так и федеральном уровнях.
- 3) Координация взаимодействия и согласование целей/сферы интересов разнородных субъектов безопасности, имеющих различную ведомственную подчиненность.
- 4) Организационная и административная разнородность субъектов безопасности.
- 5) Интеграция разнородных информационных ресурсов (технологическая, семантическая, организационная разнородность данных).

б) Отсутствие единого регламента информационного взаимодействия и обмена данными между ведомственными информационными системами различного назначения и ограничение доступа к проблемно-ориентированной информации, принадлежащей разным ведомствам или субъектам и зачастую необходимой для оперативной аналитической обработки и поддержки принятия решений в кризисных ситуациях.

Очевидно, что многие из этих проблем в масштабе всей Российской Арктики нельзя решать без совместного участия профильных институтов РАН, региональных и федеральных органов государственной власти, ведущих вузов, а также заинтересованных представителей среднего и крупного бизнеса.

Реализация Арктической Стратегии [1] и ее научное обеспечение требуют постоянного внимания на всех уровнях государственного управления и организации науки. Важно сохранять и приумножать опыт циркумполярных исследований – такое же важное национальное достояние, как пространства и ресурсы Российской Арктики.

Литература

1. Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года.
- Режим доступа: <http://government.ru/news/432>
2. Олейник, А.Г. Проблемы и задачи формирования единого информационного пространства Арктической зоны РФ / А.Г. Олейник, А.М. Федоров // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - 2/2011(5). - С.19-28.
3. Маслобоев, А.В. Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью "Безопасный Виртуальный Регион" / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013.- №4(86).- С.128-138.
4. Современные методы создания мультипредметных веб-ресурсов на базе визуализации и обработки формализованной семантики / В.В. Диковицкий и др. // Вестник Кольского научного центра РАН.- 3/2011(6).- С.72-62.
5. Путилов, В.А. Мультиагентный подход к виртуализации проблемно-ориентированной деятельности субъектов управления региональной безопасностью в Арктике / В.А. Путилов, А.В. Маслобоев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - 4/2012(11). - Вып. 3.- С.10-23.
6. Глобальная безопасность: инновационные методы анализа конфликтов / А.И. Смирнов и др.- М.: Общество "Знание" России, 2011.- 272 с.
7. Когнитивные центры как информационные системы для стратегического прогнозирования / И.В. Десятов и др. // Информационные технологии и вычислительные системы, 2011. - №1.- С.65-81.
8. Душкин, Д.Н. Сетевые технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований / Д.Н. Душкин, М.П. Фархадов // Автоматизация и современные технологии, 2012. - №1. - С.21-29.
9. Шишаев, М.Г. Использование концепции «User as an expert» в разработке мультипредметных веб-ресурсов, основанных на онтологиях / М.Г. Шишаев, П.А. Ломов, В.В. Диковицкий // Прикладные проблемы управления макро-системами: Мат. IX Всероссийской школы-семинара, г. Апатиты, 26-30 марта 2012 г.- Апатиты: КНЦ РАН, 2012.- С.82-84.

10. Смирнов, А.И. Глобальная безопасность и «мягкая сила 2.0»: вызовы и возможности для России / А.И. Смирнов, И.Н. Кохтюлина.- М.: ВНИИ-геосистем, 2012. - 252 с.
11. Юсупов, Р.М. Наука и национальная безопасность. 2-е Изд. / Р.М. Юсупов. - СПб.: Наука, 2011. -369 с.
12. Котенко, И.В. Научный анализ и поддержка политик безопасности в киберпространстве: обзор перспективных направлений исследований по результатам международного семинара SA&PS4CS 2012 / И.В. Котенко, И.Б. Саенко // Труды СПИИРАН, 2013. - Вып. 1(24).- С.66-87.
13. РТИ возглавил разработку Системы освещения обстановки в Арктике // Корпоративная газета ОАО «РТИ».- 2012.- №2(22).- С.6.
14. Маслобоев, А.В. VarentsNet – виртуальная интеграционная площадка для информационной поддержки управления развитием арктических территорий / А.В. Маслобоев // Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы: мат. докл. Всерос. научно-практич. конф., г. Апатиты 6-8 ноября 2013 г. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013.- С.175-177.
15. Маслобоев, А.В. Проблемно-ориентированная агентная платформа для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона / А.В. Маслобоев, А.В. Горохов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2012.- №2(78). - С.60-65.
16. Ломов, П.А. Интеграция онтологий с использованием тезауруса для осуществления семантического поиска / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев // Информационные технологии и вычислительные системы, 2009. - №3. - С.49-59.
17. Ехлаков, Ю.П. Принципы построения веб-ориентированной ГИС промышленного предприятия / Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуковский, Н.Б. Рыбалов // Известия Томского политехнического университета, 2006. - Т.309. - №7. - С.146-152.
18. Маслобоев, А.В. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета, 2011. -Т.14.- №4.- С.842–853.

Сведения об авторах

Маслобоев Андрей Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: masloboev@iimm.kolasc.net.ru
Andrey V. Masloboev – Ph.D. (Tech. Sci.), Senior research

Путилов Владимир Александрович – д.т.н., профессор, директор,
e-mail: putilov@iimm.kolasc.net.ru
Vladimir A. Putilov - Dr. of Sci (Tech), Professor, Director

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ*

Аннотация

На материале двух тематических конференций выполнен обзор некоторых проблем и методов в управлении безопасностью систем различного уровня – глобальных, региональных, объектовых. Выявлены тенденции гуманитаризации исследований, возрастания роли когнитивных технологий, усиления внимания к изучению процессов развития социально-экономических систем.

Ключевые слова:

управление безопасностью, сложные системы, когнитивные технологии.

S.Yu. Yakovlev

MODERN TRENDS IN SAFETY MANAGEMENT OF COMPLEX SYSTEMS

Abstract

On the materials of two conferences the paper reviews some problems and methods in safety management of different level systems – global, regional, object. The tendencies to research increase of humanities, cognitive technologies, social-economic systems development have been indicated.

Key words:

safety management, complex systems, cognitive technologies.

Введение

Девятнадцатая и двадцатая Международные конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» проводились в декабре 2011 и 2012 годов в Москве на базе ИПУ РАН. Тематика докладов и тезисов традиционно отличалась широтой обсуждаемых вопросов и предлагаемых подходов [1, 2]. В статье рассматриваются некоторые интересные (с точки зрения автора) направления, как правило, близкие к исследованиям по безопасности, проводимым ИИММ КНЦ РАН.

1. На пороге когнитивной эры

В работах Малинецкого Г.Г. (ИПИМ РАН) и соавторов развивается идея создания когнитивной отрасли, сравнимой по масштабу с компьютерной индустрией.

Авторами выполнен исторический обзор и сделан прогноз развития экономики и науки. XIX век определён как век геополитики, столетие пара и

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №12-07-00138) «Разработка когнитивных моделей и методов формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью арктических регионов России»).

угля, тяжёлой промышленности, инженерного дела, когда основные усилия были направлены на предмет производства. XX – век геоэкономики, мировых войн, электричества и нефти, химии, ядерной физики и компьютерных технологий; акцент на средства производства. XXI прогнозируется как век геокультуры, во главу угла будет поставлен субъект производства, человек-творец. Именно с человеком, коллективами, обществом в целом будут связаны возможные достижения и главные угрозы. Намечающийся прорыв связан с *когнитивными технологиями* и одной из форм их реализации – *когнитивными центрами*. Именно здесь развернутся главные события в сфере науки и технологий XXI века.

Выполнен обзор развития понятия "технология". До начала XIX века под технологией понималось искусство осуществления любой деятельности. В конце XIX и начале XX века понятие сузилось до технологий материального и энергетического производств. Затем (во второй половине XX века) смысл вновь расширился до производственных, управленческих, образовательных и иных технологий. Получил распространение термин "высокие технологии", когда добавленная стоимость намного превышает стоимость сырья (например, производство микросхем). Появился термин "гуманитарные технологии", объектом которых являются люди, социальные отношения. Гуманитарные технологии стали предметом не только изучения, но и проектирования ("цветные революции"). Развиваются методы рефлексивного управления, опирающиеся на модель субъекта. Возник термин "высокие гуманитарные технологии". В конце XX века произошёл прорыв в исследованиях мозга, моделировании сознания, математизации общественных наук.

Когнитивные технологии определяются как способы и алгоритмы достижения целей субъектов, опирающиеся на данные о процессах познания, теорию самоорганизации, компьютерные технологии. Именно когнитивным технологиям приписывается огромный потенциал развития, они позволяют достичь нового качества управления всё более сложным и нестабильным миром. В качестве аналога при прогнозировании вероятной траектории становления когнитивной отрасли выбрано развитие компьютерных технологий. Несмотря на бурный рост, влияние компьютеров оказалось меньше предполагаемого. С одной стороны, общество и элиты оказались не готовы к изменениям, с другой, "мы не знаем общества, в котором живём". Пришло время, когда этот *когнитивный барьер* на стыке гуманитарных, информационных и управленческих технологий должен быть преодолен, именно благодаря когнитивным технологиям.

В истории компьютерных наук "вначале была математика", в когнитивных исследованиях эта стадия также признаётся пройденной. В качестве научной основы определена *теория самоорганизации* или *синергетика*. Этот междисциплинарный подход родился в 1970-х годах и представляет собой теорию неустойчивостей, теорию нелинейных и саморазвивающихся систем. Во многих разнородных системах происходит самоорганизация – выделяется небольшое число (5-7) ведущих переменных (мод, степеней свободы, решающих правил, стратегий), названных *параметрами порядка*. Эти переменные определяют поведение системы. Выявление таких параметров позволяет многие сложные системы описывать просто, но вполне адекватно. Строится иерархия упрощённых моделей, причём модели нижних уровней для многих явлений и

процессов оказываются близкими. В природе и обществе для "управления разнообразием" создаются иерархические структуры, каждый уровень агрегирует информацию и представляет "наверх" только то, что необходимо. В последнее десятилетие выявлена ключевая роль самоорганизации и в процессах обучения, принятия решений, распознавания образов. Важный блок когнитивных проблем связан с задачами медицинской диагностики. Развита техника "диагностических игр", позволяющих выявить параметры порядка и решающие правила для конкретного эксперта. Опытный врач-диагност оценивает не более 3-4 параметров из огромной совокупности. Одна из главных способностей человека – быстрое определение таких параметров в разных ситуациях, слежение за ними, смена поведения в зависимости от них. Близким подходом является введение (в рамках динамической теории информации) понятия *ценной информации*.

Для осуществления когнитивного прорыва необходима проблема, которую не решить старыми способами. Для компьютерной индустрии такие задачи возникли в ядерной физике и космической отрасли. В настоящее время общемировой тенденцией является рост численности госаппарата наряду со снижением его эффективности. Увеличение разнообразия, рост индивидуальных возможностей порождают гигантский информационный поток. Чтобы в этом потоке выделять главное, необходимы когнитивные технологии, и нужда в них будет возрастать. Мир полон многоагентных организационных и экономических систем, и деньги уже не обеспечивают согласования всех интересов. Мировой экономический кризис носит системный характер и обусловлен кризисом управления на всех уровнях. Кардинальный выход состоит в переходе на нелинейные системы управления. Ещё одна проблема – растущая неадекватность процесса образования, когда человек за время творческой жизни не успевает дойти до вершин профессионального мастерства. Выход – в создании эффективных персональных интерактивных "компьютерных тьюторов", при сохранении роли человека-учителя (подобно компьютерной поддержке врачебной деятельности). Знания становятся основным объектом вложений. Повышение (благодаря когнитивным технологиям) эффективности обучения и использования знаний – одна из ключевых задач современности, и "гонка когнитивных технологий" уже началась.

По мнению авторов, когнитивные технологии вышли на уровень прикладной науки, важнейшие фундаментальные решения найдены, научная революция в области когнитивных исследований уже произошла. Наступает второй этап – создание опытных образцов, доведение до уровня товаров и услуг. На первые роли вместо учёных выходят изобретатели. Третий этап – диффузия инноваций, массовое производство; главные действующие лица – инженеры и технологи. Продолжительность каждого этапа составляет 10-15 лет. Важно воплотить имеющийся потенциал в когнитивной экономике. Создание такой отрасли будет иметь не только экономическое, но и социальное измерение. Применение когнитивных технологий становится важнейшим направлением развития оборонных комплексов ряда развитых стран. Возникли новые принципы использования роботов, опирающиеся на теорию самоорганизации ("стаи, команды"). Всё это вместе взятое характеризует складывающийся на наших глазах VI технологический уклад. Особое внимание при создании когнитивной отрасли следует уделить подготовке кадров – специалистов по моделированию и

проектированию будущего, инновационных менеджеров, доверительных аналитиков, мастеров технического дизайна.

Эти общие положения проиллюстрированы на примере проблем промышленно-экологической безопасности.

Основными причинами роста рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) признаны ускорившиеся глобальные климатические изменения, синергетический характер бедствий, неэффективность систем предупреждения и реагирования. Многие существующие системы безопасности основаны на субъективных, а не научно обоснованных оценках рисков. Это приводит к исключению ряда сценариев, особенно редких и крупных (как "невозможных"), занижению вероятностей и возможных потерь. Такие системы "настроены" на большое количество небольших аварий. Однако ущерб от одной крупной катастрофы может превосходить все аварии в данной отрасли. Рост ущерба от техногенно-природных ЧС, наблюдающийся в последние годы, предъявляет новые требования к мониторингу, моделированию, прогнозу и управлению опасными явлениями и процессами. Согласно мировой статистике, каждый рубль, вложенный в прогноз и предупреждение ЧС, позволяет сэкономить от 10 до 100 рублей (для России, а также для особо опасных объектов – более 1000 рублей), потраченных на ликвидацию ЧС ("коэффициент риска"). Должен быть замкнут круг: мониторинг → прогноз → предупреждение → принятие мер → анализ результатов → планирование → мониторинг. Необходимо усилить каждую из компонент триады: мониторинг – прогноз – управление, а также обеспечить их взаимодействие. В качестве ответа на этот вызов предлагается создание *сети когнитивных центров* – человеко-машинных систем, использующих новые возможности в сфере математического моделирования, информационных технологий, телекоммуникаций. Такие центры декларируются также как новый инструмент оценки стратегических рисков, моделирования и проектирования будущего. Более 10 лет назад ряд институтов РАН (по инициативе ИПМ РАН) выдвинули идею создания Национальной системы научного мониторинга опасных явлений и процессов в природной, техногенной и социальной сферах. Актуальность этой задачи к настоящему времени только возросла.

В теории управления риском выделяются "медленные" (по сравнению со временем реализации ЧС) и "быстрые" времена и управляющие воздействия. На "медленных" временах есть возможность провести моделирование, оптимизировать системы защиты, выявить и устранить уязвимые места. Так, проект станции "Фукусима" был рассчитан на волну цунами высотой до 6 метров, а в истории региона (сейсмоопасная прибрежная зона) за последние 100 лет цунами трижды достигало 10 метров и один раз 20 метров. Стоимость мер защиты станции не превышала 10% от стоимости объекта. Модели, появившиеся за 20 лет до аварии, весьма точно описывали её сценарии.

С другой стороны, отсутствие "быстрых" алгоритмов и автоматических систем в ситуациях, когда решение надо принимать за минуты и секунды, может повлечь катастрофические последствия (Чернобыль, Саяно-Шушенская ГЭС, Фукусима). В качестве научной основы для управления в "быстром времени" также предлагается теория самоорганизации (синергетика). Выявлены типовые сценарии развития опасных процессов (например, теория режимов с обострением). Предлагаются универсальные алгоритмы прогноза ЧС на основе

анализа временных рядов. Высокоточное измерение состояния отдельных элементов объекта (например, фазохронометрический метод), способы агрегации информации (например, вычисление пространственно-временных функционалов) создают предпосылки для реализации "быстрых" систем. Пороговые значения параметров, при которых объявляется тревога, подбираются на основе знаний о предыдущих, аналогичных авариях, а также путём анализа временных рядов. Как правило, у сильных событий есть предвестники – "затишье" либо "активизация" (теория самоорганизованной критичности).

Другой (организационно-технической) проблемой в борьбе с ЧС является отсутствие механизмов и систем поддержки принятия решений, что не позволяет воспользоваться моделями и прогнозами. Так, ситуация с лесными пожарами (осуществившаяся в ближайшем засушливом 2010 году) была предсказана в 2008 году, опубликована и доложена руководству МЧС и РАН, были даны рекомендации по предотвращению бедствий. Однако никаких мер не было принято, в результате ущерб от пожаров 2010 года оценивается сотнями миллиардов рублей. В качестве положительного примера приводится система управления Чили в переломный момент истории страны. Идеи кибернетики (работы Стаффорда Бира) легли в основу создания *ситуационных центров*. Информация предоставлялась ЛПР в ясной и наглядной форме, была регламентирована процедура обсуждения. История информационной поддержки принятия управленческих решений в России (создание информационно-аналитических ситуационных центров) ведёт своё начало от Чернобыльской аварии (центр "Контур"). В 1997 году был создан Ситуационный центр Президента России. В настоящее время ситуационные центры в России сталкиваются с проблемами отсутствия экспертов, кадров, недостаточного нормативного и математического обеспечения.

Концепция сети когнитивных центров (отраслевых, региональных, корпоративных) является развитием идеи ситуационных центров. Возможности "мозгового штурма", привлечения удалённых экспертов дополняются системой математических моделей анализа и прогноза, базами знаний. На такие центры также возлагается задача предупреждения редких и крупных ЧС (управление стратегическими рисками). Состояние неустойчивости характерно и для современной социальной жизни. Когнитивные центры мыслятся как информационные технологии для подготовки управленцев и согласования общественных интересов. "Отладку" функционирования центров целесообразно проводить в процессе учений по отработке действий при масштабных ЧС, с привлечением представителей различных государственных органов и структур.

2. Информационная поддержка устойчивого развития Арктической зоны РФ

В работах Шульца В.Л. (ИСПИ РАН), Шелкова А.Б., Чернова И.В., Кульбы В.В. (ИПУ РАН) и соавторов рассмотрен комплекс проблем повышения эффективности управления социально-экономическим развитием Арктического сектора РФ.

Стратегическое значение Арктики возрастает, этот регион оказывается в центре внимания многих стран, что создаёт угрозы реализации интересов России. Выполнена группировка факторов риска развития социально-экономической системы (СЭС) в виде ряда *поколений* (уровней). Фактор

верхнего уровня – *противоречия*, внутренние и внешние. Внутренние противоречия понимаются как рассогласование целей составных частей СЭС, внешние определяются различием в интересах государств. Негативные противоречия порождают внутренние и внешние *источники угроз*. Это потенциальные антропогенные, техногенные или природные носители угроз устойчивому развитию СЭС. Источники угроз имеют следствием внутренние и внешние *угрозы*. Классификация угроз возможна по уровням источника, по сферам проявления, по возможности реализации. Далее следуют внутренние и внешние *источники уязвимости* – потенциальные "приёмники" угроз. Как отражение потенциальных угроз (возможность или вероятность реализации) выступают *риски* для объекта и субъекта организационного управления. Реализуются риски в виде *ущербов* (последствий). Для анализа угроз и последствий используется *матрица угроз*. По столбцам матрицы расположены источники уязвимости, по строкам – источники угроз, в клетках – оценки угроз в количественной или качественной формах.

Противодействие угрозам развития СЭС региона осуществляется на трёх уровнях. *Стратегические задачи* направлены на ликвидацию, блокирование источников противоречий, угроз и уязвимости, достижение приемлемого уровня безопасности развития. Решение стратегических задач может достигаться изменением структуры СЭС и функций управления, уменьшением тяжести возможных последствий. *Тактические задачи* – это комплекс превентивных мероприятий, направленных на ликвидацию источников угроз или предотвращение их воздействий. *Оперативные задачи* – это мероприятия по ликвидации источников уязвимости и снижение тяжести последствий.

Одной из ключевых характеристик Арктического региона является его высокий конфликтный потенциал. Современное состояние и основные тенденции развития ситуации вокруг ресурсов Арктики определяются следующими основными *группами факторов*: геополитические, макроэкономические, природно-климатические, военно-политические. Возникновению конфликтных ситуаций в Арктике способствуют споры относительно делимитации морских границ, разграничения шельфа, режима судоходства, экологических проблем, биоресурсов и т.п. При отсутствии обоснованных претензий международно-правового характера активно используются способы политического и информационного давления.

В качестве научно-методической основы информационной поддержки политики в Арктике выступают методы структурно-динамического *сценарного анализа* [3]. Рассмотрены задачи проведения активных информационных кампаний с учётом внешних деструктивных информационных воздействий геополитических противников. Для их решения используются методы сценарного исследования имитационных моделей информационного противостояния. Эти методы базируются на применении математического аппарата взвешенных и функциональных знаковых оргграфов (мультиграфов). Выделены наборы типовых сигналов (внешних воздействий) и типовые подструктуры имитационных моделей. Для решения частных задач (например, поиск у противника источников уязвимости), в мультиграфовую модель вносятся локальные модификации: усиление или ослабление связей между факторами модели, внесение в модель новых подструктур, введение структурной избыточности, выявление ключевых факторов и т.д. Разработана

базовая мультиграфовая модель информационного противоборства (на примере трёх стран), на которой выполнено исследование эффективности информационного управления. Сформирован комплекс альтернативных сценариев, позволяющих проводить оценку качества управления.

Выполнен сценарный анализ процессов урегулирования конфликтов в регионе. Интересы сторон конфликта подразделены на *стратегические* (жизненно важные), *тактические* (приоритетные) и *сопутствующие* (второстепенные). Строится коммуникационно-целевая таблица (матрица) разрешимости проблем. Каждой клетке таблицы приписывается качественная характеристика уровня остроты конфликта: *строгий антагонизм, трудно-разрешимые проблемы, проблемы средней сложности, проблемы допустимого уровня сложности, легко разрешимые проблемы*. Соответствующие ситуации рассматриваются как *бесперспективные, малоперспективные и перспективные* (последние три уровня).

Проведён анализ информационного противодействия геополитических противников развития энергетики региона, в частности, создания мобильных плавучих атомных теплоэлектростанций малой мощности, выполнена оценка информационных угроз (деструктивных информационных воздействий).

Исследовано влияние полноты и своевременности данных о внешних воздействиях на проведение информационных кампаний (на примере заявки в ООН на расширение экономической зоны России в Арктике). Неучёт противодействия снижает период управляемости ситуацией. Выполнен анализ эффективности использования информационных ресурсов. В качестве цели выступает формирование мирового общественного мнения в поддержку российской политики в Арктике. Используются интегральные качественные показатели, соответствующие вершинам мультиграфа ("Влияние в Арктике" и др.) На графе ищутся кратчайшие пути от факторов (вершин), в которые вносятся начальные импульсы, до целевого фактора. Показано, что 1% падения целевого показателя приводит к необходимости увеличения объёма ресурсов на 41%. Учёт динамики изменения целевого фактора позволяет добиться экономии ресурсов до 32%. Также на базовой модели проведено сценарное исследование влияния согласованности действий субъектов на эффективность управления. Даны рекомендации по повышению эффективности проведения информационных кампаний.

3. Когнитивное моделирование регионального устойчивого развития

В работах Гореловой Г.В. (ТТИ ЮФУ) и соавторов представлены результаты моделирования развития ряда регионов России. Под *методологией когнитивного моделирования* понимается совокупность методов и технологий, объединяемых когнитивным подходом к анализу сложных систем.

Исследование регионов выполнялось с учётом геополитической обстановки. Были разработаны когнитивные модели: укрупнённая когнитивная карта регионального социально-экономического механизма (основные блоки и отношения между ними), когнитивные карты субрегионов, карты межрегионального обмена и т.п. Отношения конкретизировались на уровне экономических, политических и других связей. На когнитивных картах проведены модельные эксперименты, позволившие выявить динамические тренды основных сфер жизнедеятельности, определить возможные сценарии

развития, определить условия устойчивого развития. Сделаны выводы о неустойчивости исследуемых систем, о наличии негативных тенденций. Результаты когнитивного моделирования сопоставлялись с другими подходами. Одним из основных модельных показателей являлся многокритериальный показатель качества жизни населения.

Выполнено когнитивное имитационное моделирование геополитических процессов в мировых регионах. Отмечена особенность настоящего времени – *глокализация* – "эхо глобализации", "отражённая глобализация". Под *глокальностью* понимается взаимодействие факторов и событий различного уровня, которые в реальности переплетены. Локальные пространства всё чаще анализируются в контексте глобальных тенденций. Глобальные факторы отражаются на любой "площадке" таксоном ниже. В качестве базы исследования геополитических процессов, как взаимодополняющие, признаются методы системной динамики, когнитивное и агентное моделирование.

Продемонстрированы возможности применения когнитивного моделирования к исследованию опасных экзогенных (рельефообразующих) процессов. Предвидение катастрофических событий необходимо для успешной экономической деятельности и безопасности населения. Объединение в целостной когнитивной модели (в форме графа) количественных и качественных факторов позволяет проводить математический анализ устойчивости системы, сценариев её развития. При разработке когнитивной модели и последующем сценарном анализе необходимо учитывать геологические, орографические, геоморфологические и климатические факторы.

4. ЦУКС, СЦ, ИУСКБ и др.

В работах Буркова В.Н. (ИПУ РАН) и соавторов обсуждаются вопросы построения региональных автоматизированных систем борьбы с техногенно-природными ЧС. Такие системы создаются в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС). В настоящее время Национальный центр управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России, ЦУКСы региональных центров и Главных управлений МЧС России могут обмениваться оперативными и статистическими данными о ЧС, что позволяет говорить о формировании единого информационного пространства управления. Также обеспечена возможность обмена данными с дежурно-диспетчерскими службами (ДДС) и ситуационными центрами (СЦ) министерств, ведомств и органов исполнительной власти.

Проектируемая региональная автоматизированная система предупреждения и ликвидации ЧС имеет трёхуровневую структуру.

На нижнем уровне создаются системы борьбы с ЧС на потенциально опасных объектах (ПОО) – составные части информационно-управляющих систем комплексной безопасности (ИУСКБ) этих объектов. На среднем уровне – единая ДДС региона, аккумулирующая данные по опасным объектам и включающая в себя районные (городские) ДДС. На верхнем уровне – ЦУКС Главного управления МЧС России по региону.

Остановимся более подробно на ИУСКБ ПОО. Выделяются три основных направления обеспечения безопасности: технологические процессы, оборудование, экология. ИУСКБ имеет, как правило, двухуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень безопасности образуют локальные

информационно-управляющие системы участков или цехов, имеющих декларации безопасности, планы ликвидации аварийных ситуаций. Данные локальной системы анализируются и архивируются в локальном информационно-аналитическом центре (ИАЦ). Верхний уровень включает в себя ИАЦ ИУСКБ предприятия, который решает задачи ведения базы данных контролируемых параметров и обеспечения функционирования подсистем: сбора информации о концентрациях опасных веществ, моделирования возникновения и развития ЧС, поддержки принятия решений. К базовым относятся следующие подсистемы ИУСКБ: экомониторинга, учёта и сопровождения оборудования, контроля технологических параметров, связи и оповещения, контроля нормативов на рабочих местах, подготовки и обучения кадров. Эти подсистемы объединяются на базе ДДС объекта.

При создании ИУСКБ необходимо определить: перечень контролируемых параметров, методику комплексной оценки безопасности цехов и объекта в целом, требования к моделям безопасности, деревья развития аварийных ситуаций.

5. Как стать счастливым в условиях растущих ограничений и быстрых перемен

В работах Цыганова В.В. (ИПУ РАН) [2, 4] в качестве одного из путей решения социально-экономических проблем предлагается информационное управление, направленное на изменение сознания, именно, на переориентацию ценностей с материальных на духовные, на эволюцию мирового сообщества.

Глобальный кризис усугубляется избыточным потреблением Запада и ростом населения Юга. Это ведёт к социальной нестабильности. Необходимы механизмы безопасной эволюции, адаптации к ограничениям ресурсов и пределам экономического роста. Альтернатива – голод, революции и войны.

Требуются междисциплинарные исследования проблем управления гуманитарными системами разного масштаба, другими словами, создание *высоких гуманитарных технологий* (ВГТ). Высокие медицинские технологии создают предпосылки для построения принципиально новых моделей человека как объекта управления. На этих моделях можно отлаживать *адаптивные механизмы* функционирования человека, способы повышения качества жизни и наполнения её смыслом. Это позволяет согласовывать интересы личности и общества, делать жизнь более гармоничной и счастливой. Целью автора являлись разработка и исследование динамической модели человека, включающей физиологическую, психологическую и управленческую компоненты. Основными принципами построения ВГТ являются адаптивность, прогрессивность, комплексность, иерархичность, интеллектуальность. Для разработки ВГТ применяется математическая теория управления эволюцией гуманитарных систем - *теория эволюционных систем*, используется когнитивный подход. Строятся когнитивные карты (графы) адаптивного управления, включающие объект и субъект, а также соединяющие их дуги, отражающие последовательность действий. Такие когнитивные карты в теории эволюционных систем называются *адаптивными архетипами*. Автором предложен базовый комплекс адаптивных механизмов и архетипов (35 архетипов, разбитых на группы), из которых конструируются системы управления эволюцией человека и социума. Таким образом, развитие теории

эволюционных систем осуществляется путём создания новых моделей человека как объекта управления в условиях динамики и неопределённости.

Рассматриваются адаптивные психофизические механизмы и технологии самоорганизации и самоуправления личности (эндогенное развитие), направленные на повышение качества жизни и создание эффективных ВГТ в условиях ускорения изменений. Разработана психофизиологическая модель личности с двумя сигнальными системами, вводится критерий качества жизни. Рассмотрены различные типы личности, обоснованы рекомендации по приданию смысла жизни, выходу из депрессивного состояния и защите от него. Креативность, рефлексивность, спокойствие, поддержание потенциала и активности дают надежду на регулярные положительные эмоции. На основе концепции самоорганизации и модульной структуры мозга разработаны нейрофизиологические модели эволюции структуры мозга во взаимодействии с психикой личности. Условия для бессознательной самоорганизации мозга создают нейромедиаторы ("гормоны счастья"), формирующие творческого человека, занимающегося любимым делом. Методы восстановления и оздоровления мозга также связаны с привлекательными для личности занятиями. Благоприятные условия для сознательной самоорганизации мозга создаются посредством самовнушения, самовоспитания и творчества.

Исследовано влияние экзогенных факторов – эмоциональных отношений с другими людьми – на состояние, нормы и качество жизни. Рассмотрены адаптивные этические механизмы, придающие смысл доверительным и близким отношениям, а также механизмы, основанные на организации взаимодействия и управлении другими людьми. Разработаны адаптивные механизмы управления эволюцией политико-экономических систем в условиях перемен.

Технология достижения и сохранения счастья основана на реализации лестницы желаний. Изменение внешних условий трактуется как стимул для развития. Разработана концепция счастливой личности как центра (центра счастья) человеческого капитала, основанного на самоорганизации и адаптации. Декларируется становление новой прикладной науки – счастьеведения – самостоятельного направления в теории управления эволюцией человека, социума и других гуманитарных систем.

Заключение

Констатируется кризис систем управления на всех уровнях. Стремительный рост информационных потоков, глобальные климатические изменения, повышение рисков ЧС, мировой экономический кризис, ограниченность ресурсов, ускорение изменений во всех сферах - создают угрозы человеку, коллективам, народам и человечеству в целом.

Как показывает проведённый анализ, одной из основных тенденций в управлении безопасностью систем разного уровня (от локальных до глобальных) является гуманитаризация исследований, перенос акцента на человека и общество. Технологии связи с общественностью (PR), правительством (GR), конкурентами и союзниками приобретают всё большее значение. Освещение различных событий в СМИ оказывает не меньшее воздействие на ситуацию, чем сами эти события. Хвост начал вилять собакой. Любопытно, что фильм с таким названием, прекрасно иллюстрирующий подобные технологии, был выпущен в США ещё в 1997 году ("Wag the Dog", в российском прокате – "Плутовство", в одной из главных ролей

режиссёра PR-кампании снялся Дасти́н Хоффман). Информационные войны уже давно и активно ведутся, например, в сфере поддержки геополитических интересов в Арктике.

Наиболее перспективными для решения комплекса проблем управления признаются когнитивные технологии, хотя точного определения этого понятия не даётся. Прогнозируется вторжение новых технологий во все сферы жизни человека и общества – от решения геополитических проблем до моделирования сознания отдельного человека [5]. В качестве теоретической основы предлагается теория самоорганизации или синергетика. Внедрение новых технологий может осуществляться путём создания сети когнитивных центров, на которые возлагаются оценка стратегических рисков, решение задач моделирования и проектирования будущего, а также оперативное управление развитием территорий и отраслей.

В качестве самостоятельного класса выделяются задачи управления региональным развитием. Исследуются регионы, обладающие высоким конфликтным потенциалом, где сталкиваются интересы многих игроков: Арктическая зона, регионы юга России. Отмечена особенность этих регионов, названная "глокальностью" (переплетение глобальных и локальных факторов). Один из ведущих методов моделирования развития – структурно-динамический сценарный анализ, основанный на применении математического аппарата мультиграфов и/или когнитивных карт.

Для решения задач предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера предлагается создание многоуровневых региональных автоматизированных систем. На нижнем уровне функционируют объектовые информационно-управляющие системы, на среднем – дежурно-диспетчерские службы районов (городов), на верхнем – региональный ЦУКС МЧС России. Рассмотрены структуры этих систем, функции и задачи управления.

Литература

1. Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XIX Международной конференции, г. Москва, декабрь 2011 г. / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. - М.: РГГУ, 2011. - 506 с.
2. Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XX Международной конференции, г. Москва, декабрь 2012 г. / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. - М.: РГГУ, 2012. - 471 с.
3. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем: в 2-х кн. / под ред. В.Л. Шульца, В.В. Кульбы. – М.: Наука, 2012.
4. Цыганов, В.В. Адаптивные механизмы и высокие гуманитарные технологии. Теория гуманитарных систем / В.В. Цыганов – М.: Академический Проект; Альма Матер, 2012. – 346 с. – (Социально-политические технологии).
5. Соколов, Ю.И. Глобальные социальные риски высоких технологий XXI века / Ю.И. Соколов // Проблемы анализа риска. – 2012. – Т.9, №6. – С.6-29.

Сведения об авторе

Яковлев Сергей Юрьевич – к.т.н., старший научный сотрудник, доцент,
e-mail: yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

Sergey Yu. Yakovlev – Ph.D. (Tech. Sci.), Senior researcher, Associate professor

УДК 004.9

А.В. Вицентий

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация

В статье представлен краткий обзор применения космических технологий для развития арктических регионов. Рассмотрены основные понятия, связанные с дистанционным зондированием Земли и последующей обработкой данных.

Ключевые слова:

дистанционное зондирование Земли, космические технологии, развитие Арктики.

A.V. Vicentiy

SIMULATION MODEL OF SPATIAL OBJECT MOVEMENTS WITH QUASI-RANDOM ROUTES

Abstract

The article provides a brief overview of the space technology use for the Arctic regions development. The basic concepts related to the Earth remote sensing and the subsequent data processing are considered.

Key words:

earth remote sensing, space technologies, Arctic development.

Введение

Необходимость решения социально-экономических проблем арктических территорий становится все более актуальной. Увеличивается численность населения Земли, в том числе и в арктическом регионе. Все больше создается инженерных сооружений гражданского, военного и двойного назначений, разрушение которых грозит экологическими и другими катастрофами, существенно расширяется список территорий подверженных сильному антропогенному воздействию, интенсивно разрабатываются полезные ископаемые и др.

В настоящее время в Арктическом регионе происходят быстрые изменения, как в области окружающей среды, так в политике и экономике. При проведении мониторинга любого объекта или экосистемы возникает специфика, вытекающая из особенностей объекта исследования. Такая специфика имеется при исследовании арктического региона. Для Арктики особое значение приобретают такие факторы, как изменение климата, демографические изменения и рост глобального спроса на природные ресурсы региона [6]. Кроме того, арктическая морская деятельность, по всей вероятности, значительно расширится в результате повышения спроса на природные ресурсы и улучшения доступа к морским районам. Эта деятельность повысит риски для окружающей среды и экологических процессов. Следовательно, России и другим арктическим

государствам необходимо прилагать дополнительные усилия в целях подготовки надлежащих и своевременных национальных и международных правил и мер, чтобы уменьшить риски и потенциальные негативные воздействия судоходства и других видов деятельности в арктических водах.

Сложность экологической ситуации на арктических территориях России обусловлена слабой восстановительной способностью природных компонентов на фоне постоянно растущего техногенного давления со стороны горнодобывающей, нефтедобывающей и горноперерабатывающей промышленности, частых аварий на нефте- и газопроводах, буровых платформах и установках, промышленных выбросов в атмосферу и сбросов сточных вод в реки и моря [1]. Несмотря на то, что в настоящее время информация о ледяном покрове на водных объектах получается за счет спутниковых данных, ряд элементов, характеризующих динамику ледникового покрова, либо не определяются, либо определяются с большими погрешностями. Поэтому задача создания спутникового мониторинга арктических территорий является актуальной и требует комплексного решения.

При современном развитии технологий космического дистанционного зондирования земной поверхности вопрос об основном источнике данных для мониторинга высокоширотной Арктики решается однозначно, но проблема эффективного использования разнообразной космической информации для изучения арктического региона остается достаточно острой, так как единой законченной комплексной методики, использующей все возможности таких данных, на настоящий момент не существует [2].

Современные технические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяют получать цифровые изображения участков земной поверхности с высоким пространственным разрешением и в широком диапазоне спектра электромагнитных волн. Кроме того, значительное развитие получили математические методы обработки цифровых изображений (пространственно-спектральный анализ, мультифрактальный анализ, радарная интерферометрия и др.), которые при соответствующей адаптации алгоритмической базы могут быть применены для обработки цифровых изображений ледового покрова и других элементов рельефа северных территорий [3].

Таким образом, в настоящее время появились реальные возможности для разработки последовательной, научно-обоснованной концепции и методологии космического мониторинга арктических территорий и реализации на основе этой концепции космического географического метода изучения изменений на земной поверхности в северных регионах России.

Краткая история дистанционного зондирования Земли

Современный этап развития ДЗЗ обычно связывают с успешной эксплуатацией ERTS - технологического спутника NASA по изучению земных ресурсов 1972 года. Этот спутник был переименован в Landsat-1, и по программе Landsat в течение более чем 30 лет накоплен огромный архив данных ДЗЗ. С этих пор космическая съемка стала проводиться в массовом порядке не только в интересах военных, но и для применения в мирных целях: в метеорологии, при исследовании природных ресурсов и т.д. История отечественных КА природно-ресурсного назначения началась в 1974 г. с запуска ИСЗ Метеор-Природа с

установленными на борту сканирующими устройствами высокого (МСУ-Э) и среднего разрешения (МСУ-СК).

Бурный рост объема получаемой информации в это время был поддержан одновременным прогрессом вычислительной техники и средств хранения данных. По настоящему широкие перспективы открылись перед ДЗЗ с развитием компьютерных технологий, переносом всех операций по обработке и использованию данных на компьютеры, особенно в связи с появлением ГИС.

В последние годы отчетливо обозначились основные тенденции в развитии технологий ДЗЗ из космоса: увеличение пространственного разрешения получаемых изображений и производительности съемки с КА, создание спутников или группировок для решения специализированных задач, более активное использование радиолокационных съемок. Все это непосредственным образом сказывается на структуре и объеме рынка ДЗЗ - улучшается качество продукции, и в то же время за счет увеличения на орбите количества спутников и конкуренции значительно снижается стоимость данных, постоянно расширяются архивы снимков, в том числе на территорию России [4].

ДЗЗ сегодня - это огромное разнообразие методов получения изображений буквально во всех диапазонах длин волн электромагнитного (ЭМ) спектра от ультрафиолетовой (УФ) до дальней инфракрасной (ИК) зоны и радиодиапазона, самая различная обзорность - от снимков с метеорологических геостационарных спутников, охватывающих почти целое полушарие, до детальных съемок небольших участков. Пространственное разрешение, при этом, может варьироваться от нескольких километров до нескольких сантиметров.

Современное состояние дистанционного зондирования Земли

В настоящее время большую часть данных дистанционного зондирования Земли получают с искусственных спутников Земли (ИСЗ). Большой обзор поверхности Земли с высоты полета спутника, высокая скорость движения спутниковых датчиков и возможность регистрировать сигналы в нескольких спектральных диапазонах позволяют получать огромные объемы данных. Широта охвата территории является характерной чертой дистанционных методов исследования Земли. Организация работ по изучению поверхности Земли, основанная на сочетании аэрокосмических методов с небольшим объемом наземных исследований, которые проводятся на ограниченном числе опорных маршрутов и ключевых участков, позволяет значительно сократить сроки производства работ и снизить их стоимость.

Данные космических съемок сегодня стали доступны широкому кругу пользователей и активно применяются не только в научных, но и производственных целях. ДЗЗ является одним из основных источников актуальных и оперативных данных для геоинформационных систем (ГИС). Научно-технические достижения в области создания и развития космических систем, технологий получения, обработки и интерпретации данных многократно расширили круг задач, решаемых с помощью ДЗЗ [5]. Основные области применения данных ДЗЗ из космоса - изучение состояния окружающей среды, землепользование, изучение растительных сообществ, оценка урожая сельскохозяйственных культур, оценка последствий стихийных бедствий и т. д.

Понятие дистанционного зондирования Земли

Дистанционное зондирование - это способы получения информации об объекте на расстоянии без вступления с ним в прямой контакт, К методам дистанционного зондирования относятся все методы неконтактного получения информации, такие как сейсморазведка, гравиразведка и т. д. Среди них особое место занимают методы ДЗЗ из космоса.

Под дистанционным зондированием поверхности Земли понимается наблюдение и измерение энергетических и поляризационных характеристик излучения объектов в различных диапазонах ЭМ спектра с целью определения местоположения, вида, свойств и временной изменчивости объектов окружающей среды без непосредственного контакта с ним измерительного прибора.

ДЗЗ имеет широкий круг приложений, и прежде всего, в военной сфере. В невоенной сфере большинство приложений относится к категории исследования окружающей среды:

1. Атмосфера: температура, осадки, распределение и тип облаков, концентрации газов и т.д.
2. Земная поверхность: топография, температура, альbedo, влажность почвы, тип и состояние растительности, антропогенные нагрузки.
3. Океан: температура, топография, цвет водной поверхности и т.д.
4. Криосфера: распределение, состояние и динамические подвижки снега, морского льда, айсбергов, ледников.

Одной из наиболее важных характеристик ДЗЗ является возможность накапливать данные о большой области земной поверхности или объеме атмосферы за короткий промежуток времени, получая практически моментальный снимок. Например, с помощью сканера на геостационарном метеорологическом спутнике Meteosat изображение примерно четверти поверхности Земли формируется менее чем за полчаса. Если этот аспект рассматривать в сочетании с тем фактом, что с помощью спутниковых систем можно получать данные в ситуациях сложных для наземных исследований, когда они медленны, дороги, опасны, политически неудобны, то потенциальная польза ДЗЗ становится еще более очевидной. Дополнительным преимуществом ДЗЗ является возможность систем выдавать калиброванные данные в цифровом виде, которые могут быть введены непосредственно в компьютер для обработки.

В современных условиях следующие характеристики определяют востребованность космических снимков (КС):

– Объективность - каждый КС является документом, объективно отражающим состояние местности на момент съемки. Подделать КС практически невозможно, так как съемку ведут различные компании-операторы и попытки изменения данных могут быть легко обнаружены.

– Актуальность - материалы космической съемки можно получить на различные даты, включая съемку на заказ, которая осуществляется, как правило, в течение нескольких недель.

– Масштабность - современные приборы ДЗЗ позволяют одновременно снять значительные по площади территории с довольно высокой степенью детализации.

– Экстерриториальность - участки съемки никак не привязаны к государственным и территориальным границам и для проведения съемки не требуется разрешение.

– Доступность - в настоящее время данные ДЗЗ с пространственным разрешением 2 м и ниже являются открытыми. Процедура заказа и получения снимков достаточно проста.

Данные ДЗЗ, полученные с космических спутников, зачастую нельзя получить никаким другим способом. Современная служба погоды в значительной мере основана на наблюдениях со спутников. Следует отметить, что чем больше территория государства, тем более эффективно применение дистанционных методов.

Доступ к данным ДЗЗ регулируется так называемой политикой «открытого неба» (Open Sky Policy). Основным международным консультативным органом координации политики в области ДЗЗ является CEOS (Committee on Earth Observation Satellites).

Применение и источники данных ДЗЗ для развития арктической зоны Российской Федерации

В арктических и субарктических регионах России на первом месте стоят проблемы мониторинга состояния природных ресурсов и экологического контроля за их добычей и переработкой, анализ состояния природных комплексов в условиях антропогенного воздействия. В настоящее время большинство исследований в области экологии и природопользования базируется на данных ДЗЗ. Тенденции к расширению роли космического мониторинга в значительной мере связаны с усилением требований к оперативности и достоверности сведений о состоянии окружающей среды.

При решении тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов ДЗЗ, выделяют четыре основные области [6]:

1) геология и ресурсы недр; 2) гидрология и поверхностные водные ресурсы; 3) лесные ресурсы и растительный покров; 4) воздействия на окружающую среду.

Современный рынок данных ДЗЗ предоставляет широкие возможности по выбору КС, которые могут быть использованы для создания и обновления геопространственной информации. Для задач крупномасштабного топографического картографирования подойдут снимки сверхвысокого ПР (выше 2 м), такие как WorldView-1, GeoEye-1, CARTOSAT-2, QuickBird, IKONOS, Ресурс-ДК и др., и высокого ПР (2-3 м), такие как Radarsat-2, SPOT-5, CARTOSAT-1, FORMOSAT-2, ALOS PRISM.

Для целей тематического картографирования, в большинстве случаев, подходят КС сенсоров среднего ПР, имеющие большое количество спектральных каналов, отвечающих за узкие участки спектра. Наличие каналов в среднем, ближнем и дальнем ИК диапазонах дает расширенные возможности для прикладных задач, связанных с картографированием растительного и почвенного покровов. К таким съемочным системам относятся, прежде всего, RapidEye, ALOS AVNIR-2, Landsat-5/7, SVOT-4/5, ASTER, IRS-1C/ID, Resourcesat-1 и др.

Современные КС более низкого ПР в таких системах, как MODIS, MERIS, NOAA и других, также несут огромный объем полезной информации, позволяющей решать тематические задачи в мелких масштабах.

К настоящему моменту накоплен большой архив данных ДЗЗ, который регулярно пополняется. У потенциального потребителя есть широкие возможности выбора снимков по типу съемки, пространственному и радиометрическому разрешению, а также по времени съемки. Архивные данные, как правило, значительно дешевле оперативных, но в любом случае, для конечного пользователя проходит определенное время между заказом снимка и его получением, даже если снимки приобретаются через Интернет. Организации, которые работают с большими объемами информации, могут получать данные со спутников в режиме оперативной связи, минуя поставщиков данных ДЗЗ, если приобретут и установят у себя станцию приема информации.

Заключение

В настоящее время ДЗЗ является источником актуальной и оперативной пространственной информации и широко используется для решения различных тематических задач. Для развития арктических и субарктических регионов России ДЗЗ приобретает особое значение, т.к. в связи с труднодоступностью, широким промышленным освоением и уязвимостью экосистемы северных регионов ДЗЗ из космоса становится одним из наиболее эффективных инструментов решения возникающих задач.

Литература

1. Зятькова, Л.К., Елепов, Б.С. У истоков аэрокосмического мониторинга природной среды («Космос» - программе «Сибирь»): монография. / Л.К. Зятькова, Б.С. Елепов. - Новосибирск: СГТА, 2007. - 380 с.
2. Гарбук, С.В., Гершензон, В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. - М.: А и Б. - 1997. - 296 с.
3. Гонсалес, Р., Вудс, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс / пер. с англ. - М.: Техносфера, 2006. - 1072 с.
4. Замятин, А.В., Марков, Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли / А.В. Замятин, Н.Г. Марков. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 176 с.
5. Ермошкин, И.С. Современные средства автоматизированного дешифрирования космических снимков и их использование в процессе создания и обновления карт // ARCREVIEW. - 2009. - № 1. - С.12-13.
6. Миртова, И.А., Берюляев, А.А. Географические основы аэрокосмического топографического мониторинга территорий Крайнего Севера / И.А. Миртова, А.А. Берюляев // Известия вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». - 2010. - №6. - С.68-73.
7. Беленко, В.В., Малинников, В.А. Мониторинг природных и техногенных геоэкологических систем Хибинского горнопромышленного узла по данным космической съемки / В.В. Беленко, В.А. Малинников // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». - 2011. - №4. - С.84-87.

Сведения об авторах

Вицентий Александр Владимирович - к.т.н., научный сотрудник, доцент,
e-mail: alx_2003@mail.ru

Alexander V. Vicentiy - Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher, Associate professor

УДК 004.7, 004.45

И.О. Датъев, А.С. Шемякин

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ О ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация

Самоорганизующиеся одноранговые коммуникационные сети, построенные на основе мобильных устройств, являются перспективной технологией телекоммуникаций. Поэтому, развитие таких сетей, моделирование процессов в них протекающих (перемещения узлов, передачи сообщений) и создание новых протоколов передачи данных являются актуальными задачами. Как правило, математические модели перемещений мобильных узлов не учитывают реальные данные. Авторы сконцентрировались на проблемах получения исходной информации для построения адекватных моделей перемещения мобильных устройств и посвятили данную статью обзору информационных систем, использующих сведения о местонахождении мобильных устройств.

Ключевые слова:

моделирование, мониторинг, анализ, перемещение узлов сети, динамические самоорганизующиеся мобильные системы.

I.O. Datyev, A.S. Shemyakin

INFORMATION SYSTEMS FOR AD-HOC NETWORKS MOBILITY DATA EXTRACTION

Abstract

Ad-hoc networks based on mobile devices, are promising technologies for telecommunications. Therefore, development of existing mobile networks, simulation of the processes occurring in them and new algorithms and data transfer protocols creation are urgent tasks. Today, there are different mathematical mobility models of ad-hoc networks nodes. As a rule, such models are not based on actual data on the movements of mobile nodes.

The authors of this article focused on the problems of obtaining background information for an adequate model of mobile nodes movement creation. Therefore, this article presents a review of information systems, which use information about the location of mobile devices.

Key words:

simulation, monitoring, analysis, mobility models, ad-hoc networks.

Введение

Все больше и больше информационных систем используют в качестве своей основы для приема и передачи данных мобильные устройства.

Мобильные устройства на сегодняшний день являются неотъемлемыми спутниками жизни практически каждого человека. Согласно данным прогноза мирового мобильного трафика на период с 2012 по 2017 год, опубликованного компанией Cisco [1], число подключенных к сети мобильных устройств в 2013 году превысит количество жителей Земли. К 2017 году в мире будет в среднем

по 1,4 подключенному к интернету мобильному устройству на каждого жителя Земли (более 10 млрд. устройств на 7,6 млрд. человек).

Самоорганизующиеся одноранговые коммуникационные сети, построенные на основе мобильных устройств, являются перспективной технологией телекоммуникаций. К основным преимуществам подобных сетей следует отнести незадействованный вычислительный и телекоммуникационный ресурс множества мобильных устройств, находящихся в распоряжении современных пользователей, а также возможность организации телекоммуникационных сетей на базе устройств малого радиуса действия без создания наземной инфраструктуры базовых станций [2, 3].

Поэтому, развитие существующих динамических мобильных сетей, моделирование процессов в них протекающих (перемещения узлов и процессов передачи сообщений между узлами) и создание принципиально новых алгоритмов и протоколов передачи данных являются актуальными задачами. Так, например, при тестовых испытаниях производительности разработанных протоколов передачи данных самоорганизующейся мобильной сети необходимо создать условия, максимально приближенные к реальным: соответствующий диапазон передачи сигнала, ограниченное пространство буфера для хранения сообщений, адекватные модели трафика передаваемых данных, а также реалистичные модели перемещения мобильных устройств [5, 6].

На сегодняшний день, существуют различные математические модели перемещений узлов самоорганизующихся сетей [5]. Как правило, подобные модели не опираются на реальные данные о перемещениях мобильных узлов. Однако, существует достаточно большое количество информационных систем, использующих сведения о местонахождении мобильных устройств (как сотовых телефонов, так и устройств, оснащенных GPS-модулями).

Авторы данной статьи сконцентрировались на проблемах получения исходной информации для построения адекватных моделей перемещения мобильных устройств. Именно поэтому, статья посвящена обзору информационных систем, так или иначе использующих сведения о местонахождении мобильных устройств.

Геолокационные сервисы операторов сотовой связи

Особенности функционирования мобильных сетей GSM подразумевают определение местонахождения мобильного устройства для осуществления передачи данных [4]. Сразу после включения, мобильное устройство (MS) осуществляет поиск ближайших базовых станций (Base station, BS): прослушивает эфир в поисках доступных сот. Телефон может прослушивать до 16 широкополосных каналов. Из их числа определяется шесть, наиболее удовлетворяющих по затратам энергии и качеству сигнала. Но в каждый момент времени мобильное устройство будет работать только с одной. У любой из сот есть свой уникальный номер (CellID). При этом все базовые станции (BS) объединены в группы. Как правило, принадлежность к группе определяется их местоположением (Location area), и чтобы базовые станции можно было идентифицировать, каждой группе присваивается уникальный номер – Location area code (LAC). Вместе параметры LAC и CellID работают как уникальные идентификаторы базовой станции, на которой зарегистрировано и работает

мобильное устройство. Именно используя эти параметры, Центр коммутации выбирает верное направление для отправки вызова нужному устройству, иначе пришлось бы производить поиск мобильного устройства среди тысяч базовых станций. Кроме того, определяется сектор базовой станции (Cell Sector) и фиксируется время, за которое сигнал от мобильного устройства достигает базовой станции – это параметр Timing Advance. Благодаря этому известна не только принадлежность к базовой станции, но и удаленность от нее (рис. 1).

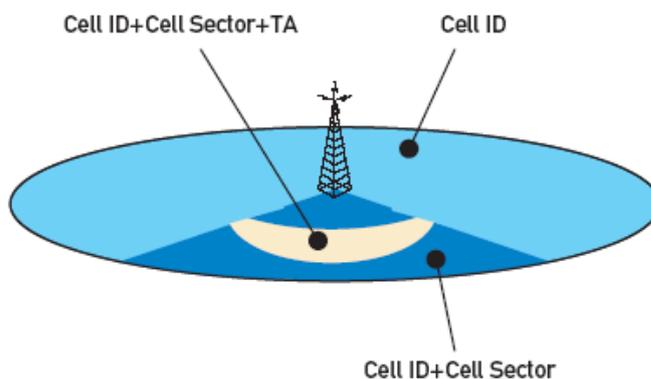


Рис. 1. Определение положения абонента

Данные о местоположении мобильного устройства обновляются с определенной периодичностью или в случае, если он перемещается, то при каждом переключении между базовыми станциями.

Такие особенности функционирования сетей GSM, позволяют операторам сотовой связи создавать и развивать информационные системы, предоставляющие, так называемые, геолокационные сервисы. Примерами реализации геолокационных сервисов являются проекты «Радар», «Маячок», «Контроль кадров» крупнейшего оператора сотовой связи «Мегафон».

Автоматизированные системы управления горнотранспортными комплексами

В настоящее время существуют готовые программно-аппаратные решения, позволяющие отслеживать положение транспорта с помощью специализированных мобильных устройств. Широкое распространение такие решения нашли в горнодобывающей отрасли для отслеживания текущего положения горного оборудования, а также при организации движения общественного транспорта.

Система «Карьер». Система «Карьер» [7] автоматизирует процесс диспетчеризации, что позволяет минимизировать так называемые «простои» техники. Также возможен контроль и управление загрузкой материала, причем управление осуществляется в реальном времени, при необходимости, можно оперативно получить отчетность. Система «Карьер» позволяет автоматизировать процессы управления и наведения горных машин с использованием высокоточной навигации (рис. 2). При этом можно осуществлять контроль над параметрами эксплуатации и состояния горных машин.



Рис. 2. Схема построения системы «Карьер»

Все компоненты системы взаимодействуют между собой с помощью беспроводных сетей, таких как: Motorola MESH, WiFi, WiMax, GSM, Motorola Canopy, Система спутниковой связи Iridium. Для того чтобы горная машина была подконтрольна системе «Карьер», на ее борту должно быть установлено следующее оборудование: интеллектуальная панель, оборудование беспроводной передачи данных, датчики и системы диагностики, навигационные системы. Структура программного обеспечения системы «Карьер» приведена на рис. 3.

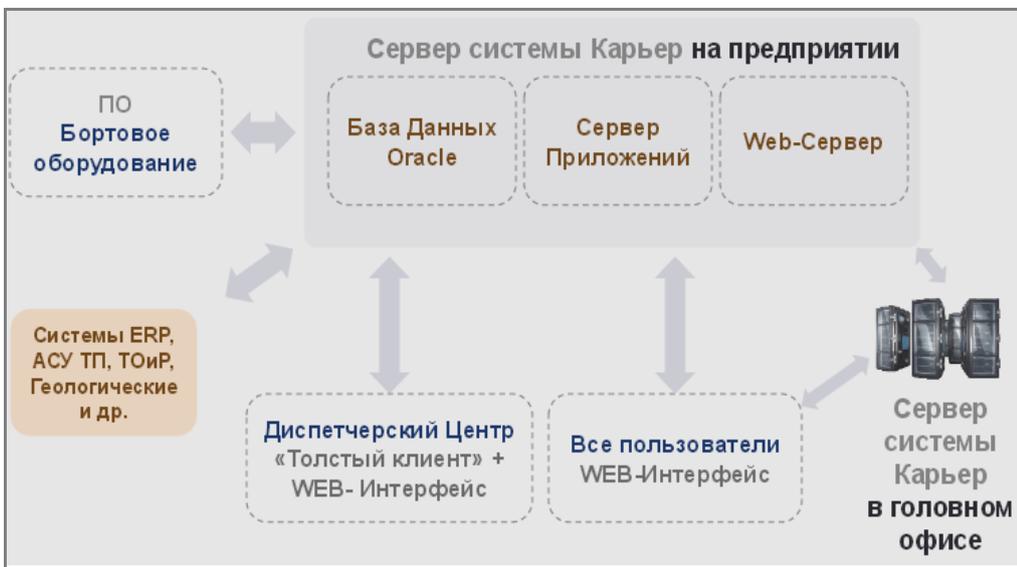


Рис. 3. Структура программного обеспечения

Для управления горнотранспортным комплексом используются различные типы карт, причем, как растровые, так и векторные. Эти карты автоматически обновляются из геологических систем. Оператор может наносить на карту различные объекты, маршруты движения, зоны и т. п., просматривать исторические данные. Также для контроля и управления комплексом могут использоваться мобильные приложения.

MODULAR MINING. Американская фирма MODULAR MINING SYSTEM [8] специализируется на разработке компьютеризированных систем управления горными работами при открытой и подземной добыче полезных ископаемых. Основанная в 1979 г. фирма уже с 1980 г. начала активно действовать на рынке автоматизированных программных средств для горнодобывающей промышленности, предложив свою первую систему POPS (Prototype Open pit System) для проектирования карьеров. На сегодняшний день фирма является одним из лидеров на этом рынке – за 15 лет существования ею поставлено 39 программ на 80 горнодобывающих предприятий. Одна из ее наиболее известных систем – мощный пакет программ «Диспетчер» (Dispatch), с помощью которого из одного центра ограниченное количество операторов осуществляет автоматический контроль и управление грузопотоками автосамосвалов (рис. 4), работой и перемещением выемочно-погрузочной техники и бурового оборудования, планирование техобслуживания горного оборудования, а также подготавливаются статистические сводки и производственно-технические отчеты. Производительность предприятий, на которых применялась система Dispatch, возросла от 6 до 32%.



Рис. 4. Управление самосвалами в системе Dispatch

Определение местоположения горнотранспортного оборудования производится с помощью глобальной системы позиционирования GPS, использующей космические спутники связи. Система GPS легко совмещается с остальными системами программы Dispatch. Компания MODULAR MINING SYSTEM

предлагает полный набор оборудования для системы GPS. Система GPS способна непрерывно в реальном времени осуществлять управление движением самоходного оборудования. Мобильное автономное оборудование через бортовую антенну получает автоматическое сообщение о прибытии к «виртуальному» радиомаяку, используя систему координат карьера, хранимую в памяти бортового компьютера на машине, информацию от спутников GPS, наземной отражающей станции и данные радиоканала.

Данные расположения оборудования передаются в виде файловых сообщений круглосуточно в реальном времени. Сообщения включают «снимки» (мониторинг) карьера в реальном времени, диспозицию оборудования в любой момент смены, текущие данные о поливке и планировке автодороги.

Управление транспортными средствами является наиболее сложным процессом в программе Dispatch. Вся информация, собираемая с бортовых компьютеров самосвалов, передается в информационный центр (диспетчерскую) на центральный компьютер. Управление транспортными грузопотоками из информационного центра производится одним или двумя диспетчерами. В начале смены диспетчер сообщает свой номер (своего рода пароль) бортовому графическому дисплею GOIC (Graphical Operator Interface Console), расположенному в кабине самосвала. В течение смены диспетчер отмечает только отклонения от нормы (например, задержки и простои оборудования). Остальная информация собирается системой в автоматическом режиме.

Проект «Интеллектуальный карьер». Суть проекта состоит в создании первой в России и СНГ технологии для осуществления добычи полезных ископаемых на открытых горных работах, не требующей присутствия людей. Самосвалы роботизированы, то есть движутся полностью автономно без водителей в кабине, а другая погрузочно-доставочная техника дистанционно-управляемая.

Экономический эффект при использовании системы «Интеллектуальный Карьер» достигается за счет:

- исключения производственного персонала в зоне непосредственного ведения горных работ, уменьшения ремонтного персонала. Один оператор в диспетчерском центре может контролировать движение 4-10 самосвалов. Машинисты погрузочной техники переводятся в современный диспетчерский центр и работают под непосредственным руководством горных инженеров;
- уменьшения капитальных затрат при использовании техники – 15-20% за счет правильной эксплуатации техники;
- повышения производительности работы самосвалов на 20% за счет уменьшения количества простоев, изменения технологического процесса смены.

Одной из особенностей системы является возможность привязывать рабочую смену самосвала к плановым ТО и ремонтам техники. Простои, связанные с человеческим фактором устраняются (пересменка, обед, плохое самочувствие, ошибки в организации производственного процесса и т.д.)

Кроме того, отпадает необходимость строительства социальной инфраструктуры для линейного персонала открытых горных работ, поскольку работа может проводиться из удаленных диспетчерских центров, расположенных в административных центрах с развитой социальной инфраструктурой.

Проект разрабатывает компания «ВИСТ МАЙНИНГ ТЕХНОЛОДЖИ» – 100 % дочерняя компания ВИСТ Групп, более 50 человек заняты в НИОКР проекта, среди членов команды 2 доктора наук, 5 кандидатов наук, 5 лауреатов премии правительства в области науки и техники.

Среди партнеров компании - ведущие горнодобывающие компании, Заводы БЕЛАЗ, ОМЗ, ведущие горнодобывающие компании, ИПКОН РАН [9].

АСУ ГТК компании ЗАО «Союзтехноком». Для предприятий горнодобывающей отрасли ЗАО «Союзтехноком» [10] предлагает программно-аппаратные комплексы автоматизации контроля и учета работы технологического универсальным инструментом для учета технических и технологических параметров, технической диагностики узлов и агрегатов транспорта, позволяющим строить как автономные автоматизированные системы, так и комплексные диспетчерские системы (автоматизированные системы управления горнотранспортным комплексом). Система управления горнотранспортным комплексом предполагает создание единого информационного пространства «автосамосвал (погрузочные средства) – водитель (оператор) – диспетчерский пост – водитель (оператор)». Участие мобильных и стационарных объектов в обмене информацией достигается их оснащением работомерами с GPS навигацией и устройствами передачи данных. Рабочая модель системы ориентирована на сеть первичной обработки и передачи информации с бортов для принятия решений должностными лицами. Во время работы бортовой комплекс выполняет функции «черного ящика», записывая в оперативную память все события технологического процесса, происходящие «на борту», а также осуществляя контроль состояния важнейших систем транспортного средства. В состав системы входят:

- бортовое устройство идентификации, сбора и учета сменной информации – работомер (PM2). Внешний вид PM2 приведен на рис. 5;
- устройство идентификации iButton (далее устройство iButton или таблетка);
- считыватель iButton, подключаемый к персональному компьютеру.



Рис. 5. Внешний вид работомера

Оборудование транспортных средств бортовыми вычислителями создает стартовые условия для широкого использования современных информационных технологий оперативного учета, контроля и управления процессом перевозок при открытых разработках полезных ископаемых. Бортовой вычислитель автоматически обеспечивает прием-сдачу рабочих смен и формирование сменных отчетов об использовании транспортного средства в принятой на предприятии системе учета производственных показателей. В течение рабочей смены в хронологическом порядке регистрируются технологические операции погрузки, разгрузки, заправки ГСМ с указанием пространственных координат, а также возникающие на борту неисправности, внутрисменные простои, их причины и точные координаты стоянки.

Ещё одним примером систем управления горнотранспортным комплексом может служить *Система диспетчеризации Wenco*. Автоматизированная система компании Wenco [11] включает широкий набор функций, начиная с системы отчетности по оперативной информации из карьера, высокоточного позиционирования и управления техникой, и заканчивая информацией по техническому состоянию карьерной техники и передовой системой автоматической диспетчеризации.

Используя современные технологии в областях GPS-мониторинга, беспроводных широкополосных каналов связи, информационных технологий и компьютерных программ, Wenco используется крупнейшими компаниями в горнодобывающей отрасли, таких как, BHP-Billiton, DeBeers, Teck Cominco, US Steel и в СНГ, АК «АЛРОСА», ЗАО «ПОЛЮС», Ferrtexpro.

Автоматизированные системы мониторинга и диспетчеризации общественного транспорта

Система ГЛОНАСС-мониторинга Voyager. Система GPS/ГЛОНАСС [20] мониторинга отображает информацию о текущем местоположении транспорта, его скорости, адресе в режиме реального времени. Контролируются такие параметры, как зажигание, работа аккумулятора/массы, исправность самого прибора, состояние дополнительных механизмов (рис. 6).

ГЛОНАСС контролирует транспорт в режиме реального времени. Частота обновления информации составляет не более 15 секунд. Объекты можно группировать и контролировать как все сразу, так и по отдельности.

В отчете по пробегу содержится информация о ежедневном и общем пробеге автомобиля, начале и продолжительности рабочего дня, суммарном времени движения и стоянок, скорости. Возможен автоматический расчет топлива по нормативам.

Для сферы пассажирских перевозок и опасных грузов очень важен контроль соблюдения заданного расписания движения. Система ГЛОНАСС GPS мониторинга транспорта может создавать отчет по посещению определенных зон. В качестве контрольных зон используются объекты, точки маршрута, “коридоры”, используемые для маркировки маршрута. Зоны создаются как вручную, так и автоматически.

Чтобы снизить вероятность проезда водителя по запрещенным маршрутам предусмотрена возможность контроля маршрутов в реальном времени.

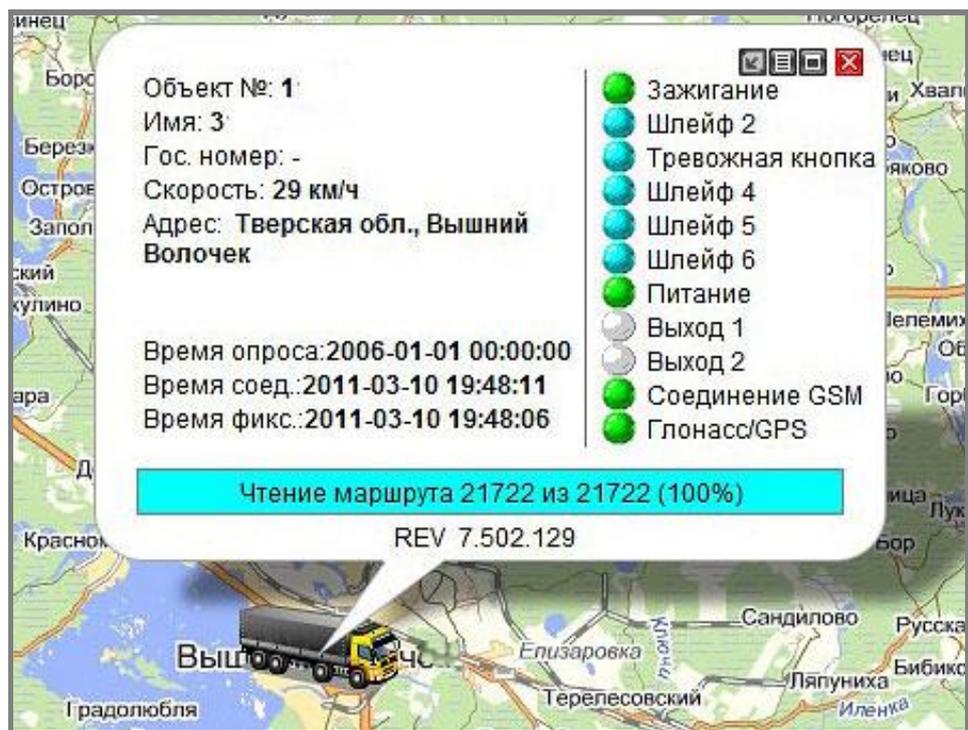


Рис. 6. Online-мониторинг

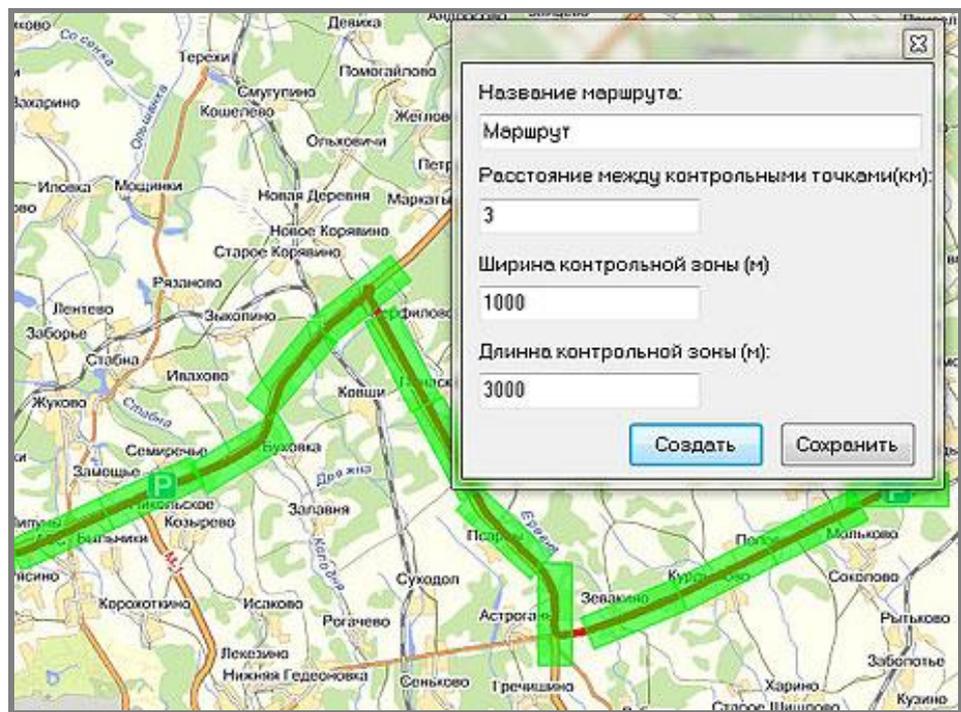


Рис. 7. Создание зон на основе пройденного пути

Сгруппировав созданные контрольные зоны в порядке посещения, возможно контролировать маршрут движения транспорта (рис. 7). Определив время посещения каждой контрольной зоны, можно создать расписание для каждого маршрута. Фактически, это маршрутный лист движения транспорта. Фиксируются все посещенные водителем адреса, пробег между ними, скорость движения. Кроме того, на карте отображаются места и продолжительность стоянок.

Система диспетчеризации BusReport [21] – программный комплекс от компании KazinterSoft, который работает совместно с системой GPS-мониторинга Wialon и решает основные задачи диспетчеризации городского пассажирского транспорта. BusReport – web-решение, формирующее отчеты для всех предприятий, занимающихся пассажирскими перевозками.

Для работы BusReport необходимы:

- постоянный доступ в Интернет.
- отдельная учетная запись в существующей системе мониторинга Wialon.

- подключение модулей Wialon ActiveX и "Расширенные отчеты".

Далее представлены особенности и дополнительные возможности системы BusReport. Система позволяет сформировать все необходимые виды отчетов (по превышениям скоростного режима, по контрольным точкам, по интервалу между автобусами, по количеству автобусов на маршруте, по количеству «кругов» и др.). Специализированное клиентское программное обеспечение предусматривает получение информации о схемах маршрутов и текущем положении автобусов со смартфонов и планшетов на базе Android. Также, предусмотрена возможность подключения камеры и датчиков пассажиропотока к GPS-трекеру, что позволяет получать снимки из салона автобуса. Кроме того, возможна установка автоинформатора с GPS-приемником (устройство автоматического объявления остановок и других служебных сообщений, а также вывода информации на светодиодное табло). Система BusReport поддерживает возможность взаимодействия с информационным табло, установленным на так называемой «умной» автобусной остановке.

Программа для такси Infinity TAXI [22] - система автоматизации диспетчеризации такси. Важной отличительной особенностью системы является встроенный Call-центр и запись разговоров. Возможно подключение электронных карт, модуля SMS, GPS-навигации. Использование специальных водительских терминалов (Java-приложений) позволяет отказаться от радиоканала.

Функциональные особенности системы Infinity Taxi:

- прием и ведение заявок;
- запись разговоров (записанные разговоры хранятся по каждому заказу в отдельности);
- стоянки и очереди;
- работа с корпоративными клиентами;
- гибкие правила расчета стоимости;
- звонок одним кликом;
- призовые поездки, проведение акций;
- взаиморасчет с водителями;

- взаиморасчет с операторами;
- определитель номера;
- база адресов, возможность задать адрес по первым введенным символам
- возможность подключения телефонных гарнитур;
- предоставление статистических данных по звонкам;
- возможность «тонкой» настройки внешнего вида с помощью специального конфигуратора;
- телефонизация службы такси. Наличие офисной АТС не требуется;
- автоматический контроль работы операторов. Отслеживание пропущенных телефонных вызовов, среднего времени поднятия телефонной трубки, средней продолжительности обработки заказа по каждому оператору.

Для моделирования мобильных сетей трудно переоценить значение данных о перемещениях мобильных устройств и их владельцев. В то же время, представленные выше информационные системы мониторинга и диспетчеризации транспорта используют подобные данные в своей работе ежедневно.

Сервисы поиска попутчиков

Podorozhniky.com. Каждый день сотни тысяч людей преодолевают один и тот же привычный маршрут на работу, учебу или куда-то там еще. Кто-то делает это на своем 5-ти местном автомобиле, скучая в заторах, а кто-то намеревается протиснуться в маршрутку или метро, пытаясь добраться в том же направлении. Суть ресурса podorozhniky.com [13] проста - объединить пассажиров и водителей, которые хотят рационально использовать автотранспорт. Необходимо указать, куда и когда планируется поездка, и система подберет попутчиков-подорожников по заданному маршруту. Поездки можно планировать как в пределах города, так и для междугородних путешествий. Преимущества сервиса для водителей: расходы на бензин (а, возможно, и другие) частично или полностью компенсируют попутчики; водителям удастся избежать стресса и нагрузки от ежедневного вождения (участники проекта podorozhniky.com могут по очереди исполнять роль водителя). К преимуществам для пассажиров следует отнести: стоимость проезда с водителем-подорожником сопоставима со стоимостью проезда в общественном транспорте; возможность передвигаться по городу или между городами с комфортом на автомобиле вместо не всегда удобного общественного транспорта. Чем больше людей воспользуется ресурсом podorozhniky.com для нахождения попутчиков, тем свободнее станут дороги, уменьшится количество дорожных заторов, выбросов вредных газов.

Dowezu.ru. Проект [14] помогает в поиске попутчиков для совместного путешествия или езды на работу. Водитель и пассажир находят друг друга по схожему маршруту, знакомятся, общаются и договариваются о совместных поездках.

На сайте проекта необходимо заполнить анкету и после этого можно пользоваться всеми сервисами сайта. Также возможно вести переписку с попутчиками, смотреть фотографии и многое другое.

Таким образом, системы поиска попутчиков могут быть полезны для извлечения сведений о намерениях перемещений владельцев мобильных устройств. На основе таких сведений, возможно, осуществлять прогнозирование перемещений мобильных устройств и их владельцев.

GPS-трекеры индивидуального пользования

На сегодняшний день, можно выделить две основные группы GPS-трекеров: аппаратные, в виде отдельных устройств, и программные, в виде приложений для мобильных устройств.

Рассмотрим пример аппаратного GPS-трекера «ГДЕ МОИ». GPS-трекер «ГДЕ МОИ» – это небольшое устройство для спутникового слежения за автомобилями, людьми и другими объектами. Положив GPS-трекер в бардачок автомобиля или портфель ребенка, можно отслеживать их перемещение в городе и за его пределами. Таким образом, GPS-трекер служит «маячком», позволяющим отслеживать передвижение. Технически в GPS-трекере совмещено два устройства: GPS-приемник и GSM-модем. С помощью спутниковой системы позиционирования GPS-трекер вычисляет координаты и скорость движения, и тут же передает полученные данные наблюдателю через GPRS-канал сотовой связи (для этого в устройство вставляется SIM-карта). Результаты непрерывного наблюдения в течение некоторого промежутка времени позволяют получить маршрут объекта. Используя WEB-сервис «ГДЕ МОИ», доступный по адресу <http://my.gdemoi.ru> (мобильная версия – <http://gdemoi.mobi>) вы можете отслеживать местонахождение объектов с GPS-трекерами в режиме «он-лайн». Для этого достаточно наличие мобильного телефона или компьютера: данные от GPS-трекера накладываются на электронную карту, показывая текущее положение (с адресом) и пройденный маршрут.

Когда объект на время покидает зону GSM-покрытия (например, в метро или за городом), GPS-трекер накапливает данные во встроенной памяти и затем, при появлении сотового сигнала, передает их единым пакетом. С помощью WEB-сервиса «ГДЕ МОИ» возможно отслеживание истории перемещения объекта. История перемещений GPS-трекера хранится до трех лет. На маршрутах отмечаются: время и адрес начала и конца движения, время в пути и протяженность маршрута, скорость и другие параметры. С помощью услуг «ГДЕ МОИ» можно получать моментальные уведомления посредством SMS, автоматическим телефонным звонком или на E-mail об интересующих событиях: нажатие тревожной кнопки, посещение заданной гео-зоны, отклонение от маршрута, контроль посещений заданных мест, низкий заряд аккумулятора, выключение GPS-трекера, снятие GPS-трекера с объекта, срабатывание автомобильной сигнализации [12].

Далее, в качестве примеров программных разновидностей GPS-трекеров и демонстрации их функциональных возможностей, рассмотрим 5 популярнейших (с наибольшими рейтингами Google Play приложений для ОС Android) спортивных GPS-трекеров. Большинство подобных приложений умеет не только считать километраж, но и рисовать маршруты, формировать статистику перемещений и делиться ей в социальных сетях. Однако, несмотря на схожий принцип работы, у каждой из подобных программ есть свои особенности.

Runkeeper в Google Play. Приложение ориентировано именно на бегунов: акцент сделан на маршруты, трассы и командные забеги. Кроме того, Runkeeper [15] оснащен системой тренировок, что дает возможность избежать типичных для новичков ошибок и сделать пробежки более эффективными. Вся необходимая информация по маршруту выводится в наушники прямо поверх музыки (во всех спорт-трекерах существуют плееры). Помимо стандартных для спорт-трекеров счетчиков дистанции, средней скорости и сожженных калорий, Runkeeper хорошо интегрируется с соцсетями, позволяя «расшаривать» достижения, сравнивать их с рекордами друзей. Для полноценного использования приложения потребуется регистрация на сайте, возможная через аккаунт в Facebook. Внешний вид одного из окон приложения приведен на рис. 8.

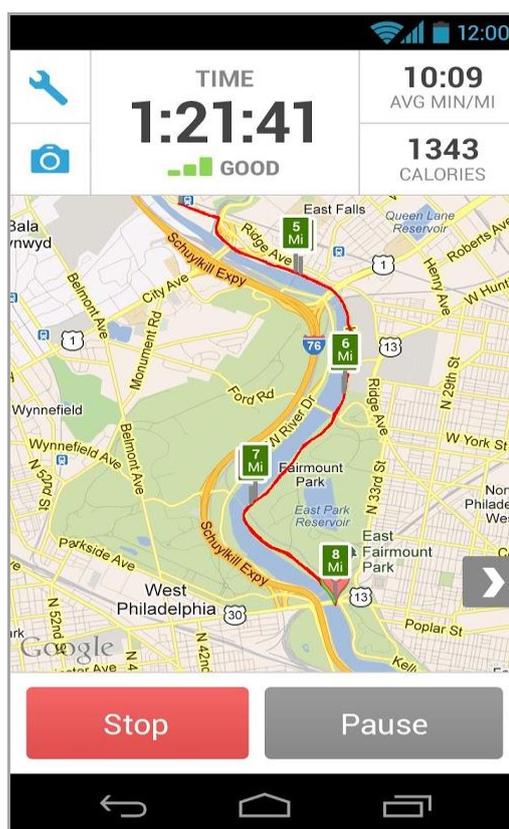


Рис. 8. Главное окно Runkeeper

Endomondo Sports Tracker в Google Play. Endomondo [16] – кроссплатформенное приложение, предназначенное для фиксации данных о тренировках. Среди функций – счетчики продолжительности и средней скорости пробежки, расстояния и сожженных калорий, подача аудиосигналов и несколько режимов тренировки. Как и большинство спорт-трекеров, система достижений в Endomondo имеет состязательный характер: соревноваться можно со своими собственными рекордами, рекордами друзей и лучшими достижениями на маршруте (их Endomondo запоминает в виде трасс). Кроме того, есть

возможность включить в секундомере приложения обратный отсчет. В отличие от Runkeeper, аудиоподсказки в Endomondo вынесены в платную версию. Регистрация возможна как через форму на сайте, так и через Facebook - последний вариант позволяет автоматически выкладывать результаты прямо в хронику. Внешний вид приложения приведен на рис. 9.

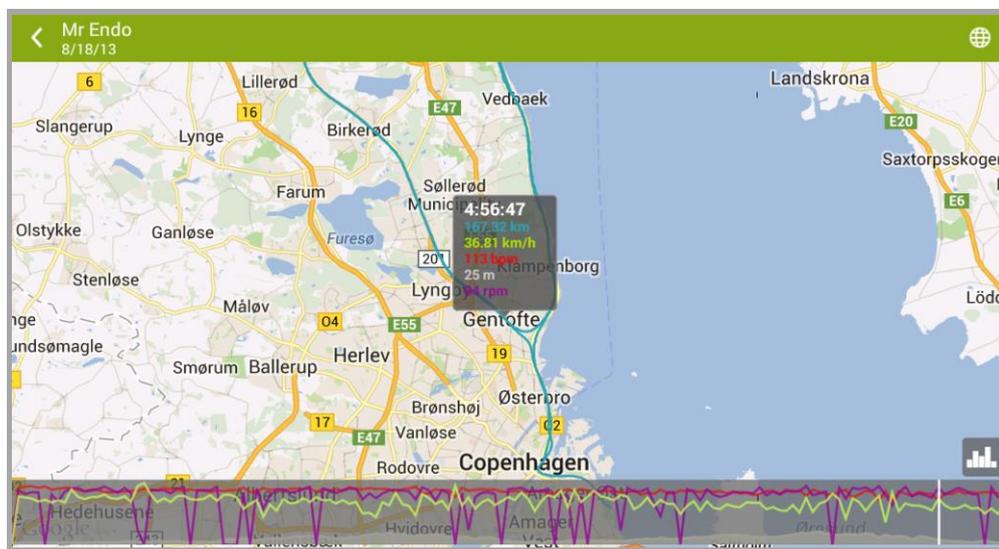


Рис. 9. Внешний вид приложения Endomondo

Adidas miCoach в Google Play. Adidas miCoach [17] - приложение от фирмы Adidas, первоначально созданное для работы с ее проприетарными гаджетами для анализа пробежек. Однако и без них программа позволяет накапливать статистику по дистанции, калориям и скорости, осуществлять звуковые подсказки и планировать тренировки. Среди режимов: свободная пробежка и режим «трека», сложность которого меняется в зависимости от указанного уровня подготовки. Главными же преимуществами miCoach являются поддержка русского языка (в аудиоподсказках, в частности) и календарь тренировок, позволяющий работать с ним также в приложении Google-Календарь. Запланированные тренировки, в нем записанные, miCoach умеет отправлять на телефон. Внешний вид одного из окон приложения приведен на рис 10.

Runtastic в Google Play. В целом, напоминающий Runkeeper, Runtastic [18] умеет считать дистанцию, время, скорость и сожженные калории. Принципиальное отличие - слежение за перемещениями в трех измерениях, с точным отсчетом высоты, позволяющим подбирать сложность дистанции. Всю собранную информацию приложение выстраивает в красочные графики, которые можно автоматически публиковать в Facebook. PRO-версия отличается отсутствием рекламы, наличием голосовой связи, метеосводками и работой с Google Earth. Также, отличительной чертой Runtastic является принципиальная мультиплатформенность: кроме стандартных iOS и Android, программа поддерживает Windows, Blackberry и Bada. Внешний вид одного из окон приложения приведен на рис 11.

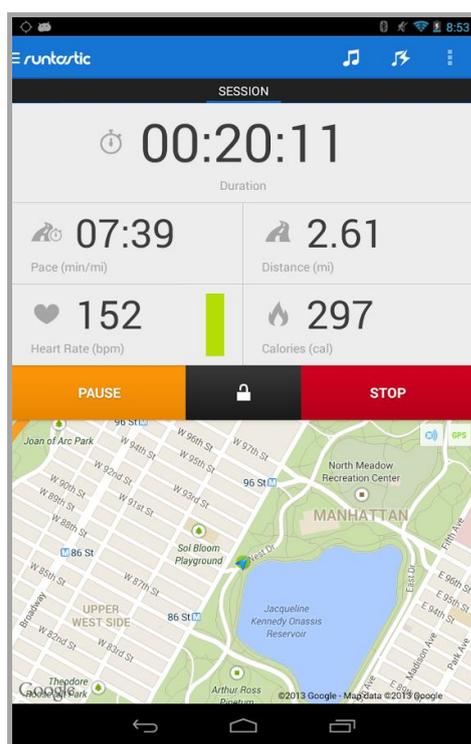


Рис. 10. Приложение Adidas miCoach



Рис. 11. Приложение Runtastic

Sports Tracker. Еще один популярный спортивный трекер — Sports Tracker [19]. Он доступен не только для Android. Есть версии для iOS и Windows Phone. Sports Tracker умеет различать свыше двенадцати видов спорта и показывать статистику по каждому из них с разбивкой дистанции на отрезки. Кроме того, в сервисе предусмотрены звуковые выкладки каждые пятьсот метров с информацией об общем времени, времени за пройденный отрезок и скорости (кроме стандартных км/ч, имеются еще мин/км). После окончания пробежки, ее детали будут доступны на сайте приложения, с цветовым отображением скорости на маршруте. Регистрация возможна как через форму, так и через Facebook - в этом случае будут доступны данные о перемещениях ваших друзей, зарегистрированных в программе. Сайт Sports Tracker оснащен еще и счетчиком, суммирующим дистанцию, преодоленную всеми пользователями приложения. Внешний вид одного из окон приложения приведен на рис. 12.

Таким образом, GPS-трекеры позволяют производить мониторинг и накапливать информацию о перемещениях мобильных устройств, что, в свою очередь, может быть использовано при построении моделей перемещения узлов самоорганизующихся мобильных сетей. Кроме того, данные о перемещениях мобильных устройств, полученные в процессе работы подобных систем, могут быть применены для решения задач управления транспортными потоками (как автомобильными, так и пешеходными).



Рис. 12. Приложение Sports Tracker

Заключение

С одной стороны, операторы мобильной связи собирают данные о перемещениях и различных характеристиках мобильных устройств в некотором приближении. В частности, в открытом доступе есть сведения об экспериментах, проводимых для сбора различных данных крупным российским оператором «Билайн». Естественно, доступ к результатам таких экспериментов сильно ограничен правовыми и коммерческими причинами. Благодаря тому, что работа сотовых мобильных сетей неотрывно связана с определением местоположения, стали развиваться и геолокационные сервисы на основе GSM/UMTS-сети.

Основными критериями работы геолокационных сервисов являются не только точность определения координат мобильного устройства, но и частота их обновления по запросу, возможность получить не только актуальные координаты в текущий момент, но и хранить исторические данные и строить маршрут передвижения устройства, а значит и абонента.

Поскольку работа многих абонентских услуг связана с получением координат конкретного абонента, показать эти координаты возможно только в случае, если абонент дал на это разрешение: подтвердил свое согласие при запросе от геолокационного сервиса. Другого способа получить координаты абонента нет [4].

С другой стороны, в настоящее время существуют готовые программно-аппаратные решения, позволяющие отслеживать положение транспорта с помощью специализированных мобильных устройств. Такие решения применяются в горнодобывающей отрасли для отслеживания текущего положения горного оборудования (Автоматизированная система управления горно-транспортными комплексами «Карьер», разработанная ВИСТ Групп, Modular Mining Dispatch) и др., а также при организации движения общественного транспорта (как в пределах одного населенного пункта, так и в региональном масштабе). Наиболее яркие примеры программно-аппаратных решений в сфере организации движения общественного транспорта – диспетчеризация служб такси. Для организации взаимодействия между компонентами программно-аппаратного комплекса используются все виды связи – как проводной, так и беспроводной (включая спутниковую связь).

Существуют решения и для индивидуального применения – так называемые GPS-трекеры, как аппаратные, так и программные, в виде приложений для мобильных устройств. Для функционирования подобных приложений

требуется подключение к сети Интернет и передача данных о перемещении центральному серверу с целью дальнейшей обработки.

Среди прочих выделяется ещё одна группа информационных систем, с помощью которых можно извлекать информацию о перемещениях владельцев мобильных устройств: популярные системы типа «Попутчики» (podorozhnik.com, dowezu.ru), позволяющие водителям и пассажирам связаться между собой для совершения совместных поездок как в пределах одного города, так и в пределах государства.

Итак, на сегодняшний день появляется всё большее количество информационных систем, так или иначе использующих телекоммуникационный ресурс мобильных устройств. Все эти системы, как правило, являются коммерческими проектами, направленными на решение частных задач. В то же время, информация о мобильных устройствах, их перемещениях, намерениях перемещений их владельцев и т. д., т.е. информация, используемая в этих изолированных друг от друга информационных системах, представляется полезной для моделирования перемещений узлов самоорганизующихся мобильных сетей. Однако, сведения о мобильных устройствах и их перемещениях, полученные в результате работы рассмотренных информационных систем в силу функциональной разнородности и информационной изолированности этих систем, обычно не применяются в исследованиях мобильных сетей.

Централизованный сбор разнородной информации на базе единой программной платформы или, по крайней мере, создание технологии доступа и интеграции существующих данных, по глубокому убеждению авторов, могут быть чрезвычайно полезны для формирования комплексного представления о процессах, протекающих в мобильных сетях (в том числе самоорганизующихся), их моделирования, создания новых и развития существующих методов передачи данных.

Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update -С.2012–2017. - Режим доступа: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html
2. Шишаев, М.Г. Организация динамической коммуникационной сети на базе мобильных устройств с многокомпонентной метрикой маршрутов / М.Г. Шишаев, А.В. Трефилов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии.– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - 4/2012(11). - Вып. 3. -С.99-105.
3. Шишаев, М.Г. Имитационная модель пространственных перемещений объектов с квазислучайными параметрами маршрутов / М.Г. Шишаев, С.Ю. Елисеев // Труды Кольского научного центра РАН. - Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. -4/2012(11). – Вып. 3. –С.106-114.
4. По следам мобильного телефона. Геолокация с помощью сотовой сети. -Режим доступа: <http://habrahabr.ru/company/megafon/blog/167905/>
5. Mobility model in ad hoc network. - Режим доступа: <http://www-public.it-sudparis.eu/~gauthier/MobilityModel/mobilitymodel.html>

6. Lu, G., Manson, G., Belis, D. Mobility Modeling in Mobile Ad Hoc Networks with Environment-Aware./ Gang Lu, Gordon Manson and Demetrios Belis // Journal of Networks, vol. 1, no. 1, may 2006.
7. ВИСТ Групп. Решения для горнодобывающей отрасли. -Режим доступа: <http://www.mwork.su/images/news/vist/3.pdf>
8. Современные программные системы компании Modular Mining для управления горным оборудованием на карьерах //Горная Промышленность. -№4. -1996.
9. Проект «Интеллектуальный карьер». - Режим доступа: <http://community.sk.ru/net/1110187/>
10. АСУ ГТК - Автономный вариант. - Режим доступа: <http://www.sotekom.ru/content/asu-gtk-avtonomnyy-variant>
11. Высокоэффективные системы управления карьерной техникой. - Режим доступа: <http://wenco.ru/>
12. GPS трекеры «ГДЕ МОИ». - Режим доступа: <http://www.gdemoi.ru/gps-treker.php>
13. Добро пожаловать на podorozhniki.com! - Режим доступа: <http://podorozhniki.com/ru/about>
14. Помощь и советы. - Режим доступа: http://dowezu.ru/app_ref/faq.aspx
15. Runkeeper. - Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fitnesskeeper.runkeeper.pro>
16. Endomondo Sports Tracker. -Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.endomondo.android>
17. Adidas miCoach. - Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.adidas.micoach>
18. Runtastic. - Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.runtastic.android>
19. Sports Tracker. - Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stt.android>
20. Профессиональный ГЛОНАСС GPS мониторинг транспорта с помощью систем Voyager. - Режим доступа: <http://www.gps-spb.ru/glonass-monitoring-transporta.html>
21. BusReport. - Режим доступа: http://gurtam.com/ru/gps_tracking/gps_business/telematics_soft.html?app=busreport
22. Комплексная программа для диспетчерской такси! - Режим доступа: <http://www.infinitydv.ru/infinity-taxi>

Сведения об авторах

Датъев Игорь Олегович – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: datyev@iimm.kolasc.net.ru

Igor O. Datyev – Ph. of Sci (Tech), Researcher

Шемякин Алексей Сергеевич – младший научный сотрудник,
e-mail: shemyakin@iimm.kolasc.net.ru

Alexey S. Shemyakin – Junior researcher

УДК 004.772, 004.41

Ю.В. Каткалов, Я.А. Сахаров

ФГБУН Полярный геофизический институт КНЦ РАН

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СЕТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Аннотация

В работе описана система, предназначенная для передачи геофизических данных с удаленных точек наблюдения, построенная на базе GSM-устройств, использующихся для подключения к сети Интернет. Приводится описание основных компонентов системы, а также процедур передачи данных.

Ключевые слова:

система передачи данных, геофизические данные.

Ju.V. Katkalov, Ja.A. Sakharov

DATA TRANSMISSION SYSTEM FOR GEOPHYSICAL NETWORKS

Abstract

The article describes the system designed for transmission geophysical data from remote observation points by using GSM as access point on Internet. It contains description of the main components of the system, as well as data transmission procedures.

Key words:

data transmission system, geophysical data.

Введение

При решении современных задач по исследованию воздействия факторов космической погоды на технологические или иные системы, становится актуальной проблема оперативной передачи информации, собираемой на территориально распределенной сети станций, в единый информационный центр для обработки, анализа и последующего размещения их в базах данных. В условиях Арктики зачастую единственным способом оперативной передачи информации являются мобильные каналы связи. Нами разработана система сбора, передачи и обработки данных, предназначенная для обслуживания геофизических обсерваторий Полярного геофизического института. Далее описана система, обеспечивающая передачу данных на центральный узел для хранения, обработки и визуализации данных, работающая в обсерватории Ловозеро, а также в международном проекте EURSIGIC*

Система передачи данных

Разработанная система состоит из двух компонентов: системы сбора данных и системы передачи данных на центральный сервер сбора данных (рис. 1).

* EURSIGIC - European Risk from Geomagnetically Induced Currents. Проект финансируется Европейским Союзом в рамках Седьмой Европейской Рамочной Программы (FP7-SPACE-2010-1).

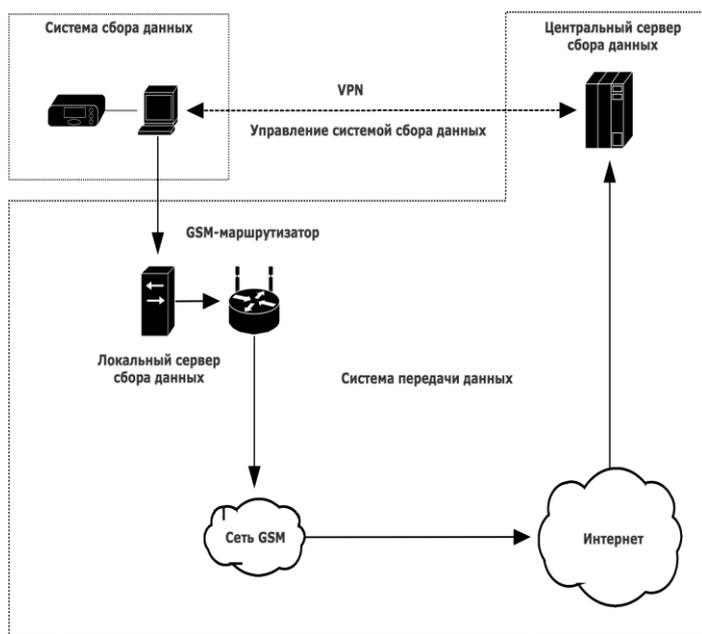


Рис.1. Основные компоненты системы передачи данных

Система передачи данных включает в себя два компонента, разделенных территориально: локальный сервер и центральный сервер сбора данных. Локальный сервер соединен с системой сбора данных и выполняет функцию подготовки данных, полученных системой сбора, с дальнейшей отправкой данных на центральный сервер сбора. Данный компонент реализован в виде аппаратно-программного комплекса, включающий *локальный сервер*, работающий под управлением операционной системы Linux (openSUSE 12), и *GSM-маршрутизатор* (CCU 3G VPN). GSM-маршрутизатор представляет собой автономное устройство, которое предназначено для подключения сетевых устройств из локальной сети к сети Интернет, используя сеть GSM в качестве среды передачи данных.

Использование GSM-маршрутизатора в качестве устройства для соединения с Интернет имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием обычных неавтономных GSM-устройств, таких как GSM-модемы:

- GSM-маршрутизатор является автономным устройством (не требует наличие компьютера для подключения);
- GSM-маршрутизатор может использоваться как точка выхода в сеть Интернет для нескольких сетевых устройств;
- GSM-маршрутизатор включает аппаратные/программные средства контроля состояния подключения к сети Интернет.

Таким образом, использование GSM-маршрутизатора позволяет организовать беспроводное соединение с сетью Интернет для одного или нескольких устройств в условиях, когда организация проводного соединения невозможна или нецелесообразна (например, по техническим или экономическим соображениям).

Работа локального сервера сбора данных реализована следующим образом (рис. 2):

1) система сбора данных записывает полученные данные в файл и, согласно расписанию, передает данные на локальный сервер сбора данных, используя один из возможных протоколов передачи данных. В качестве протоколов передачи данных могут использоваться ftp, http, ssh, smb, rsync и другие;

2) сервер, согласно установленному расписанию, проверяет наличие новых данных от системы сбора и, в случае их наличия, производит подготовку данных для отправки на центральный сервер сбора. Данная процедура состоит из двух этапов: архивация данных, которая включает сжатие данных, и перемещение данных в *архивное хранилище*. Данные, переданные в хранилище, будут также добавлены в *очередь*, которая представляет собой список файлов для передачи на *центральный сервер сбора*;

3) на завершающем этапе сервер осуществляет отправку данных, находящихся в очереди, на центральный сервер сбора данных.

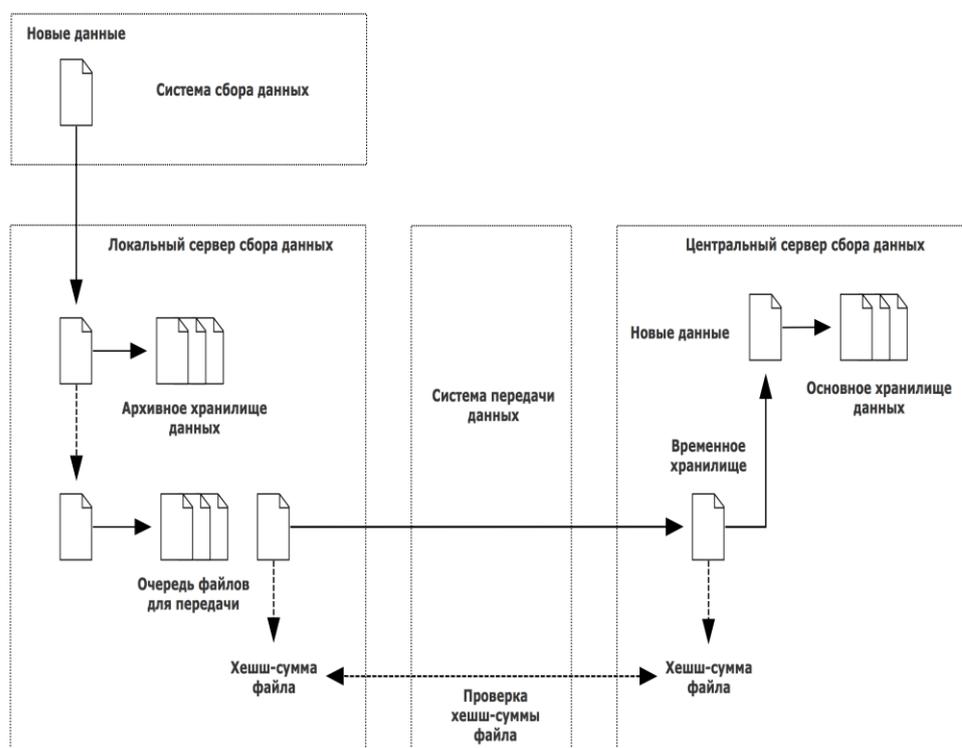


Рис. 2. Схема передачи данных на центральный сервер сбора

Процедура передачи данных на центральный сервер сбора выполняется по следующей схеме:

1) локальный сервер, используя протокол *ssh*, устанавливает соединение с центральным узлом по заданному адресу;

2) на следующем этапе для всех файлов, находящихся в очереди на передачу, будет выполнена следующая процедура:

- на локальном сервере вычисляется *хешш-сумма* (контрольная сумма) файла по алгоритму MD5. Для вычисления хешш-суммы используется программа *md5sum*;

- локальный сервер передает файл на центральный сервер сбора и помещает его во *временное хранилище*. Для передачи данных на удаленный узел (центральный сервер сбора данных) используется программа *scp*, которая использует *ssh* в качестве транспортного протокола;

- после завершения процедуры передачи, локальный сервер вычисляется хешш-сумму файла, который находится во временном хранилище на центральном сервере сбора;

- локальный сервер производит проверку, совпадают ли хешш-суммы файлов из временного хранилища и из очереди и, в случае совпадения (считается, что если хешш-суммы совпадают, то файл был передан без ошибок), файл перемещается из временного хранилища в *основное хранилище данных* на центральном сервере сбора;

- в случае, если процедура передачи файла была прервана (например, из-за разрыва соединения) или хешш-суммы файлов не совпадают, локальный сервер пытается передать файл из очереди повторно.

3) Локальный сервер закрывает соединение с центральным узлом и удаляет из очереди все файлы, которые были успешно переданы на центральный сервер сбора данных.

Несмотря на то, что описанная процедура передачи данных с локального сервера на центральный сервер сбора данных является более трудоемкой по сравнению с обычными процедурами передачи данных (например, копирование файлов по протоколу *ftp* или *rsync*), она позволяет гарантировать, что данные, которые будут помещены в основное хранилище на центральном сервере сбора, не будут содержать ошибок.

Использование протокола *ssh* позволяет организовать защищенный (зашифрованный) канал передачи данных, что является необходимым в случаях, когда данные являются конфиденциальными. Кроме того, протокол *ssh* позволяет организовывать *ssh-туннели*, которые могут использоваться, например, для создания "прямого" соединения между двумя узлами (*VPN-over-ssh*). Использование таких соединений, позволяет решить задачу, связанную с контролем и управлением удаленной системой сбора данных.

Описанный подход к реализации передачи данных на центральный сервер сбора с использованием локального сервера хранения данных позволяет решить ряд важных задач. Во-первых, использование промежуточного сервера хранения данных позволяет разделить задачу сбора и задачу передачи данных. Это позволяет реализовывать более гибкую конфигурацию систем сбора и передачи данных, а также производить масштабирование существующей системы, в случае, когда требуется организовать передачу данных от нескольких систем сбора данных (рис. 3). Во-вторых, наличие локального сервера хранения, в качестве компонента системы передачи данных, позволяет организовывать отправку данных на центральный сервер независимо от работы системы сбора.

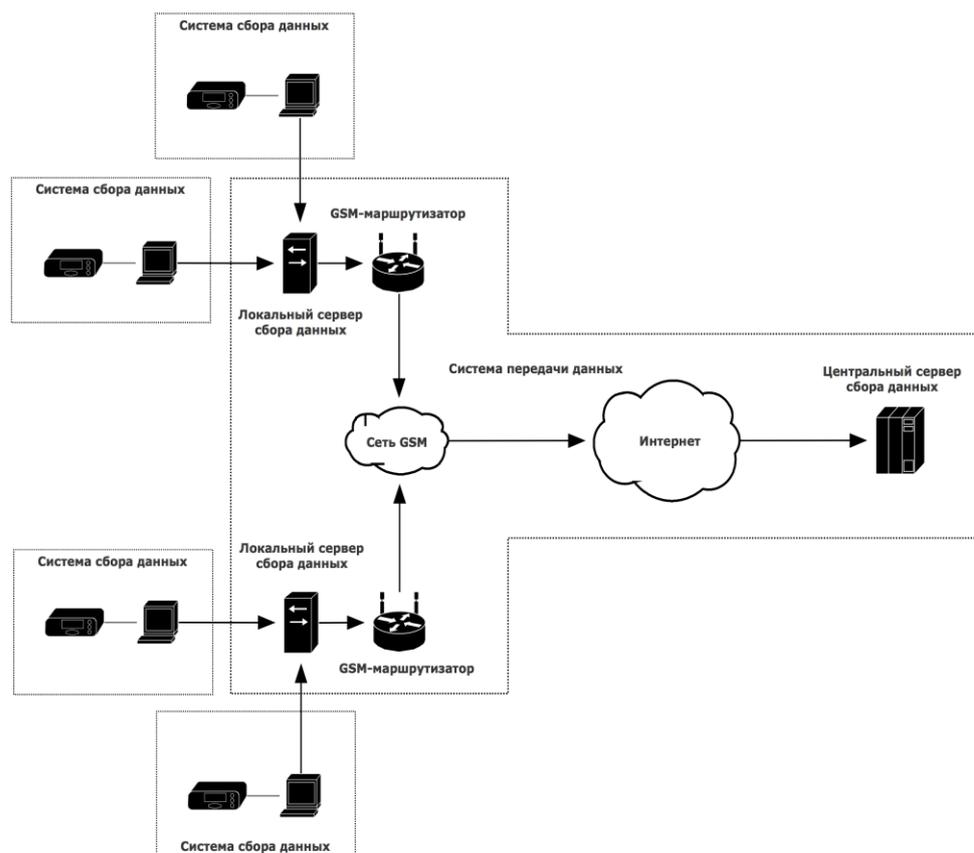


Рис. 3. Пример масштабирования системы передачи данных

Заключение

В приведенном подходе данные, переданные одной или несколькими системами сбора, будут переданы на центральный сервер сбора данных, который выполняет роль консолидирующего узла, что позволяет организовать на сервере централизованную систему хранения и обработки данных.

Данная система используется в течение семи лет для сбора и передачи данных, получаемых на обсерваториях Ловозеро и Лопарская в режиме «почти реального времени». Описанная система передачи данных также использовалась для организации сети станций, предназначенных для регистрации геомагнитно индуцированных токов в проекте EURISGIC.

Сведения об авторах

Каткалов Юрий Владимирович – младший научный сотрудник,
e-mail: work@katkalov.com

Juri V. Katkalov – Junior research

Сахаров Ярослав Алексеевич – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией,
e-mail: sakharov@pgia.ru

Yaroslav A. Sakharov – PhD (Phys.&Math.Sci.), Head of laboratory

УДК 004.7, 004.45

М.Г. Шишаев^{1,2}, Т.А. Порядин²

¹ ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

² Кольский филиал ПетрГУ

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ*

Аннотация

В статье рассмотрена проблематика эффективного картографирования для быстрого и адекватного восприятия информации. Представлен краткий обзор психологии восприятия и современных способов картографирования, предложена общая схема технологии динамического когнитивного картографирования.

Ключевые слова:

картографирование, визуализация данных, интерактивный визуальный анализ.

M.G. Shishaev, T.A. Poryadin

PROBLEM OF EFFECTIVE MAP-BASED INFORMATION SYSTEM'S INTERFACE FORMATION FOR TERRITORIES MANAGEMENT TASKS

Abstract

The article describes the problems of efficient mapping for fast and adequate perception of the information. A brief review of cognitive psychology and modern mapping techniques is given. General scheme of dynamic cognitive mapping technology is proposed.

Key words:

mapping, data visualization, interactive visual analysis.

Введение

Современные задачи управления требуют оперативной обработки больших объемов разнородной информации. Несмотря на быстрое развитие, современные информационные технологии (ИТ) не способны соперничать в этой области с человеческим мозгом. Как следствие, получило развитие такое направление прикладной информатики, как интерактивный визуальный анализ – Interactive Visual Analysis (IVA) [1]. Методология IVA подразумевает, что ИТ играют вспомогательную роль в процессе обработки информации и принятия решений: их основная функция заключается в предварительной подготовке и адаптации информации о ситуации и последующей передаче человеку для окончательного анализа и принятия решения.

* Работа выполнена в рамках проекта №2.8 программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация», при поддержке РФФИ (грант № 13-07-01016 «Методы динамического синтеза когнитивных интерфейсов мультипредметных информационных систем»).

В задачах управления территориями наиболее эффективным способом визуального представления информации является геоизображение (карта) [2]. В контексте комплексного управления территориями для формирования геоизображений необходимо оперативное и динамическое картографирование. При этом для окончательного анализа ситуации и принятия решений должны привлекаться специалисты и эксперты в различных предметных областях. Как правило, представители различных предметных областей имеют существенно разные когнитивные и ментальные стереотипы, определяющие способы восприятия и оперирования информацией. Таким образом, для оперативного картографирования, ориентированного на пользователей различных категорий, необходимы специализированные технологии, обеспечивающие автоматизированное формирование геоизображений, адаптированных к особенностям восприятия человека и способствующих, тем самым, более быстрому и адекватному принятию решений. Подобные технологии могут базироваться на формальном представлении знаний о предметной области и об особенностях человеческого восприятия информации.

В данной работе рассмотрены гештальты и перцептивные стереотипы как средство описания закономерностей восприятия информации группами людей, современные подходы к решению задачи эффективного картографирования. Также предложена технология динамического когнитивного картографирования, основанная на формализованных знаниях о предметной области и особенностях человеческого восприятия.

Психология восприятия: гештальты и перцептивные стереотипы

Общепринятые сегодня подходы к описанию процессов восприятия и структурирования ощущений человека сформировались в начале XX века в рамках школы научной психологии, получившей название *гештальтпсихология*. Основной идеей гештальтпсихологии является постулат целостности восприятия, означающий, что воспринимаемая человеком картина не является простой суммой ее составляющих. Человек всегда стремится интерпретировать опыт как некоторое доступное пониманию целое. Ярким примером подобной структурной целостности восприятия является наблюдение о том, что известная человеку мелодия узнается даже в случае, если она транспонируется в другие тональности. Центральным понятием гештальтпсихологии является *гештальт* - целостная структура (от нем. *Gestalt* – образ, форма), в принципе не выводимая из образующих ее компонентов.

Согласно гештальтпсихологии, целостность восприятия и его упорядоченность достигаются благодаря следующим принципам:

- близость (стимулы, расположенные рядом, имеют тенденцию восприниматься вместе);
- схожесть (стимулы, схожие по размеру, очертаниям, цвету или форме, имеют тенденцию восприниматься вместе);
- целостность (восприятие имеет тенденцию к упрощению и целостности);
- замкнутость (отражает тенденцию завершать фигуру так, что она приобретает полную форму);

- смежность (близость стимулов во времени и пространстве; смежность может предопределять восприятие, когда одно событие вызывает другое);
- общая зона (принципы гештальта формируют наше повседневное восприятие наравне с учением и прошлым опытом; предвосхищающие мысли и ожидания также активно руководят нашей интерпретацией ощущений) [3].

Восприятие гештальтов можно считать одинаковым практически для всех людей. Вместе с тем, для групп людей объединенных общей культурой, образованием или профессией существуют свои, специфичные для группы, принципы восприятия. Эти принципы названы исследователями П. Фоули и Н. Моури *перцептивными стереотипами* [4]. Такие стереотипы устойчивы и остаются неизменными на протяжении всей жизни индивидуума. В отличие от гештальтов, перцептивные стереотипы отражают специфику некоторой проблемной области и могут рассматриваться как принципы, способствующие точному и быстрому восприятию объекта в контексте определенного спектра прикладных задач.

Но так как у разных групп людей разные перцептивные «стереотипы», они могут противоречить друг другу, а это приведет к ошибкам в восприятии. Примером может служить разная интерпретация красного и синего цвета учеными-физиками и большинством других людей. Для большинства красный цвет обычно считается «теплым», а синий - «холодным», но у физиков синий цвет вызывает ассоциацию с более нагретым телом (это объясняется известным соотношением между температурой черного тела и его спектром излучения). Еще один подобный пример связан с эксплуатацией электростанций. Обычно индикаторы, указывающие на нормальную работу агрегатов, делаются зелеными, а в случаях неисправности применяются индикаторы красного цвета. Но в электротехнике сложилось, что красный цвет используют для обозначения замкнутых цепей, по которым течет электрический ток, а зеленый – для разомкнутых цепей. Поэтому может возникнуть конфликтная ситуация из-за неправильного восприятия.

Отсюда следует, что для правильного и быстрого восприятия информации важно установить, какие стереотипы формируют восприятие пользователя. Тогда можно определить, как правильно отобразить данные.

В тех случаях, когда наблюдатель находится в состоянии напряжения, в условиях дефицита времени или он устал, в восприятии проявляется тенденция выделять ожидаемые стереотипы (даже если в нормальных ситуациях восприятие ничем не затруднено). В этом случае нужно представлять человеку информацию только в том виде, который соответствует его стереотипам восприятия.

Кроме способа визуализации информации, на скорость и адекватность ее восприятия влияет и ее количество. Человеческую память часто подразделяют на две составляющие: долговременную память, которая является постоянным источником информации о мире, и кратковременную, или оперативную, память — ограниченный запас «осознанной» информации, который является временным. В оперативной памяти удерживается ограниченное число несвязанных друг с другом элементов, даже если повторению уделяется все внимание; это число изменяется от 5 до 9 [5]. Из этого следует, что количество отображаемых данных нужно регулировать. Например, группировать данные и ранжировать по важности для отображения только самой важной информации.

Современные способы картографирования

Для изображения различных объектов и процессов, их качественных и количественных характеристик на картах используют особый язык - условные знаки (условные обозначения). Существуют общий стандарт картографических знаков и множество специализированных, ориентированных на ту или иную предметную область.

Условные знаки на географических картах выполняют сразу две функции – определяют пространственное положение объектов и указывают их вид и некоторые характеристики. Различают площадные (или масштабные), линейные, внесмасштабные и пояснительные условные знаки. Перечень всех используемых на карте условных знаков и их объяснения содержит легенда к карте. Из чтения легенды можно составить представление о карте, не глядя на неё.

Объектами, изображаемыми на картах, могут быть любые предметы, явления или процессы. Для их изображения применяют самые разнообразные способы. Так, рельеф Земли изображается послойной окраской: низменности, имеющие высоты от 0 до 200 м, закрашиваются зеленым цветом, а возвышенности, имеющие высоты от 200 до 500 м, – светло-коричневым. Какой высоте соответствует каждый цвет, видно из таблицы, размещаемой внизу карты. Она называется шкалой высот. Пользуясь ею, можно быстро определить приблизительную высоту какого-либо участка территории. Так же построена и шкала глубин. Высоты некоторых горных вершин или низменностей, а также глубины океанических впадин показаны на карте и глобусе в метрах.

Полезные ископаемые Земли (уголь, нефть, газ, золото, алмазы и др.) показывают на карте специальными значками. Это международные значки, они понятны большинству образованных людей.

Изолинии (от греческого *isos* - равный) - линии на географических картах, проходящие через точки с одинаковыми значениями какого-либо географического явления, например, атмосферного давления – изобары, температуры воздуха – изотермы, высоты земной поверхности – изогипсы (горизонтали).

Способ ареалов используется на картах растительности, животного мира, карте лесов. С его помощью показываются площади распространения (ареалы) тех или иных видов растений, животных или лесов разного состава: хвойных, смешанных и т.д.

Знаки движения изображают перемещение различных объектов и явлений на карте: морские течения, ветры, воздушные массы, а также транспортные перевозки грузов и пассажиров.

Качественный фон используют для изображения качественных характеристик какого-либо явления или процесса (без количественных показателей).

Картодиаграмма изображает на карте географические объекты или явления диаграммными фигурами, например – промышленность крупных городов на карте промышленности.

Картосхема - схематическая карта, не имеющая градусной сетки, изображает географические объекты и явления просто и наглядно. Например, картосхема погоды, картосхема торговых связей страны, схемы маршрутов и путешествий и т.д.

Картограмма - это схематическая географическая карта, на которой штриховкой различной густоты, точками или окраской определенной степени насыщенности показывается сравнительная интенсивность какого-либо показателя в пределах каждой единицы нанесенного на карту территориального деления (например, плотность населения по областям или республикам, распределение районов по урожайности зерновых культур и т.п.) [6].

Таким образом, на сегодняшний день сформировались некоторые общие принципы визуализации картографических объектов. Однако, вследствие естественного стремления к общности, данные принципы не могут охватить все множество специфичных задач картографирования территорий, возникающих при решении тех или иных прикладных проблем.

Одним из вариантов решения данной проблемы является специализированный стандарт картографирования, ориентированный на некоторое ведомство и, как следствие, на ограниченный спектр прикладных задач. Примером может служить стандарт МЧС. В нем строго указаны требования, правила и порядок картографирования, и перечислены условные обозначения и знаки. Для специалистов в этой области не будет проблем с пониманием информации представленной по этому стандарту. Однако для человека, не имеющего отношения к МЧС и незнакомого с данным стандартом, карта, сформированная на его основе, далеко не всегда будет понятной. В упомянутом стандарте имеются условные знаки, интерпретация которых для рядового человека будет затруднительна (рис. 1).

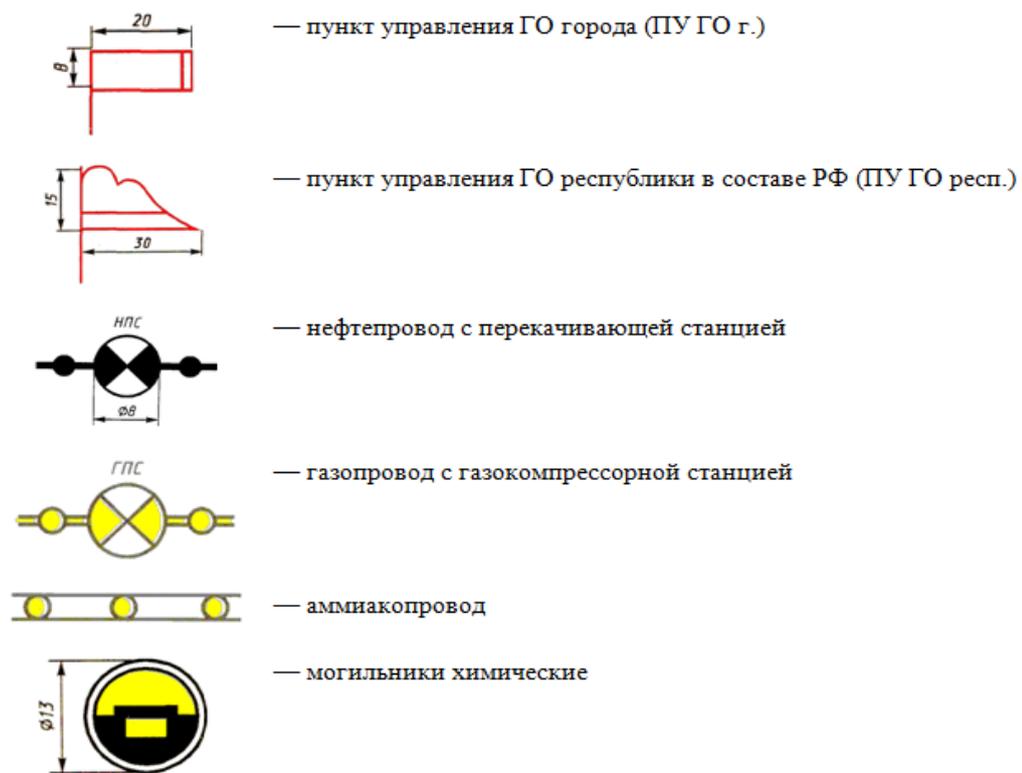


Рис. 1. Пример условных обозначений и знаков МЧС

Таким образом, специализированные стандарты лишь частично решают проблему эффективного картографирования. В ситуациях, когда интерпретировать карту необходимо одновременно нескольким специалистам из различных проблемных областей, требуется либо некоторый универсальный способ визуализации картографической информации, либо динамическое картографирование «на лету», адаптированное под особенности восприятия того или иного пользователя. Создание стандартов под все возможные существующие задачи, в особенности в условиях постоянного появления новых, не представляется возможным. Поэтому выходом из положения представляется создание технологии динамического когнитивного картографирования, адаптированного под специфику восприятия пользователя.

Технология динамического когнитивного картографирования

Технология динамического когнитивного картографирования основана на формальном представлении знаний о предметной области и об особенностях визуального восприятия информации пользователями различных категорий [7]. Одним из ключевых компонентов технологии является специализированная онтология пользовательского представления [8], описывающей визуальные картографические стереотипы для различных категорий пользователей. Общая схема технологии представлена на рис. 2.

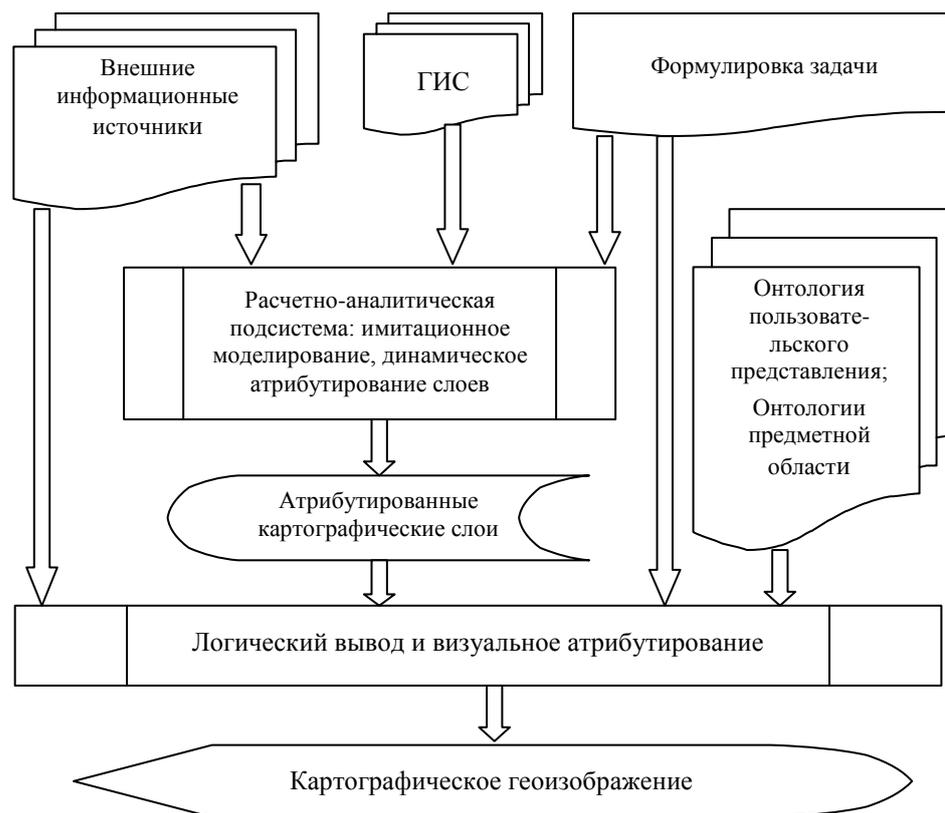


Рис. 2. Функциональная схема информационной технологии

На основе формулировки задачи, пространственной и атрибутивной информации, хранящейся в ГИС, а также информации из разнородных внешних источников в рамках расчетно-аналитической подсистемы формируются атрибутированные картографические слои, подлежащие визуализации. Затем, в ходе логического вывода на онтологиях предметной области и пользовательского представления, с учетом характеристики задачи и контекста ситуации, осуществляется визуальное атрибутирование геоизображения (сопоставление пространственным объектам графических образов – форм и визуальных атрибутов). Таким образом, обеспечивается содержательное соответствие картографического геоизображения специфике решаемой задачи и психологии восприятия информации лицом принимающим решение.

Использование в рамках технологии формализованных знаний о ментальных стереотипах пользователей (в форме онтологии пользовательского представления) позволяет оперативно формировать картографические интерфейсы информационных систем, обладающие высоким уровнем когнитивности. В свою очередь, формализованные в виде онтологии знания о предметной области обеспечивают возможность автоматизированного анализа информации, характеризующей ситуацию, поступающей из различных источников. Такие особенности данной технологии открывают широкие возможности для построения на ее основе систем комплексной информационной поддержки задач управления территориями.

Заключение

Территории, как объекты управления, представляют собой сложные системы взаимосвязанных компонентов социальной, экономической и экологической природы. Управление подобными системами требует привлечения лиц принимающих решения (ЛПР), являющихся специалистами в различных предметных областях. Для эффективной информационной поддержки принятия решений в условиях разнородности задач управления необходимо обеспечить ЛПР адекватной задаче, достаточно точной и быстро интерпретируемой информацией. Динамически формируемая интерактивная карта представляется наиболее эффективным интерфейсом систем, реализующих такую поддержку.

Оперативное формирование когнитивного картографического интерфейса информационной системы поддержки управления территорией является сложной задачей. Для формирования эффективных (в смысле простоты и скорости восприятия) интерфейсов необходимо учитывать особенности психологии восприятия человека, в том числе обусловленные его профессиональной или иной специализацией. Перспективным подходом к реализации таких интерфейсов представляется использование в рамках соответствующих информационных систем формализованных знаний о предметной области и особенностях восприятия человеком визуальной информации.

Литература

1. Oeltze S., Doleisch H, Hauser H., Weber G., Interactive Visual Analysis of Scientific Data. Presentation at IEE VisWeek 2012, Seattle (WA), USA.
2. Берлянт, А.М. Геоиконика / А.М. Берлянт. - М.: Астрей, 1996. -206 с. ISBN 5-7594-0025-8. 206.
3. Koffka K. Principles of Gestalt psychology. N.Y., Routledge, 1935. -720 с.
4. Салвенди, Г. Человеческий фактор /Г. Салвенди. - М: Мир, 1991. -276 с. ISBN 5-03-001710-0.
5. Миллер, Дж. А. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию / Дж. А. Миллер //Инженерная психология /под ред. Д.Ю. Панова и В.П. Зинченко. -М., 1964.-468 с.
6. Берлянт А.М. Картография / А.М. Берлянт. - М: Аспект Пресс, 2002. -336с. ISBN 5-7567-0142-7.
7. Шишаев, М.Г. Технология интеллектуализированного динамического картографирования в задачах управления комплексной безопасностью территорий / М.Г. Шишаев, П.А. Ломов // Применение космических технологий для развития арктических регионов: сборник тезисов докладов Всероссийской конференции с международным участием. - Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. - С.274-276.
8. Ломов, П.А. Преобразование OWL-онтологии для визуализации и использования в качестве основы пользовательского интерфейса / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев, В.В. Диковицкий // Онтология проектирования. – Самара: Новая техника. -2012. -№3. -С.49-61. ISSN 2223-9537.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,
e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru
Maksim G. Shishaev - Dr. of Sci (Tech), Head of laboratory

Порядин Тимофей Александрович – аспирант,
e-mail: modernquilt@mail.ru
Timofey A. Poryadin – Post-graduate

УДК 004.9, 004.5

П.А. Ломов, М.Г. Шишаев

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ OWL-ОНТОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ ФРЕЙМОВ*

Аннотация

Данная статья посвящена проблеме визуализации онтологий, описанных на языке OWL, для облегчения их понимания. Для этого предлагается формировать из элементов онтологии специальные структуры - когнитивные фреймы. Предполагается, что отображение когнитивных фреймов при визуализации позволит обеспечить лучшее понимание исходной OWL-онтологии, чем простое отображение связанных понятий в виде графовой структуры. В работе рассматривается понятие когнитивного фрейма, определяются требования к нему, а также рассматриваются алгоритмы его формирования

Ключевые слова:

онтология, семантик-веб, понимание онтологий, визуализация онтологий, онтология верхнего уровня.

P.A. Lomov, M.G. Shishaev

VISUALIZATION OF OWL-ONTOLOGIES ON THE BASIS OF COGNITIVE FRAMES

Abstract

This paper is devoted to the issue of visualization of the OWL-ontologies helping their comprehension. We present the approach of combining some UPO elements with special fragments - cognitive frames. It is expected that showing cognitive frames during visualization instead of just showing any terms linked with the chosen one will be more useful for ontology understanding. We determine some requirements for cognitive frames, define the types of them and consider formal algorithms for constructing frames.

Key words:

ontology, semantic web, ontology comprehension, ontology visualization, upper level ontology.

Введение

На сегодняшний день для описания экспертных знаний в различных информационных системах широко применяются онтологии. Используемым языком при этом являются язык веб-онтологий Ontology Web Language [1]. Предложенный и развиваемый консорциумом W3C, OWL на сегодняшний день является де-факто стандартом описания онтологий, благодаря наличию богатых выразительных возможностей и формальной разрешимости. Однако, несмотря на относительную простоту логических утверждений, которые при использовании, например, манчестерского синтаксиса [2] напоминают предложения

* Работа выполнена в рамках проекта №2.8 программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация», при поддержке РФФИ (грант № 13-07-01016 «Методы динамического синтеза когнитивных интерфейсов мультимедийных информационных систем»).

английского языка, описание на нем больших онтологий приводит в итоге к проблеме их понимания (ontology comprehension) [3, 4].

Наличие данной проблемы затрудняет работу пользователя с OWL-онтологией, так как он должен уметь правильно выбирать и интерпретировать совокупности синтаксических конструкций для понимания того, какой объект, процесс или явление ими описывается. Данная задача требует помимо знания как синтаксиса языка OWL, так и особенностей описания с его помощью предметных знаний. Заметим также, что решение данной задачи экспертом усложняется по мере увеличения объема и сложности онтологии, что это может в конечном итоге фактически нивелировать одну из положительных особенностей их использования - возможность их повторного применения.

Одним из общих способов облегчения понимания онтологии экспертом является ее визуализация. На сегодняшний день существует множество программных средств, которые могут быть использованы для визуализации OWL-онтологий: GraphViz [5], TGVizTab [6], OWLViz [7], OntoSphere [8]. Они ориентированы на представление онтологий в виде графовой структуры. Однако онтологии, описанные с помощью языка OWL, являются системой логических утверждений (аксиом) дескрипционной логики, не все из которых могут быть непосредственно представлены в виде элементов графа. В этом случае существующие средства не визуализируют их, что приводит к сокрытию фрагментов знаний предметной области, представленных в онтологии. Также данные средства почти не учитывают при визуализации смысл понятий и отношений, представленных в онтологии, что также негативно сказывается на понимании ее пользователем.

В данной работе предлагается проводить визуализацию того или иного понятия онтологии исходя из того, какие при его определении используются инвариантные понятия и отношения. В качестве их источников рассматриваются онтологии верхнего уровня. Таким образом, в онтологии выделяются фрагменты, на основе которых формируются особые структуры – когнитивные фреймы, которые и представляются пользователю в рамках визуализации. При формировании когнитивных фреймов учитываются также особенности психологического восприятия человеком информации. Предполагается, что визуальное представление формализованных знаний описанных в онтологии, в виде системы фреймов упростит их понимание пользователем.

Понятие когнитивного фрейма

Как правило, процесс визуального представления каких-либо данных или знаний в рамках интерфейсов информационных систем заключается в уподоблении объектов, процессов и явлений предметной области, а также отношений между ними некоторым визуальным образам. В этом случае, как это отмечается в работе [9], такой визуальный образ выступает в роли метафоры визуализации сущности предметной области. Таким образом, метафора визуализации в данном случае определяется как отображение, ставящее в соответствие понятиям и объектам моделируемой прикладной области систему сближений и аналогий и порождающее некоторый изобразительный ряд (набор видов отображения) и набор методов взаимодействия с визуальными объектами.

В работе [10] подчеркивается, что метафора визуализации в графических интерфейсах выполняет основную когнитивную функцию. Это проявляется в том, что пользователь может приложить образ неизвестного фрагмента действительности к другому известному фрагменту и тем самым обеспечить концептуализацию неизвестного фрагмента по аналогии с уже сложившейся системой понятий.

Для формальных онтологий в качестве метафоры визуализации обычно выступает, графовая структура, то есть набор именованных вершин соединенных дугами. Это вызвано тем, что формальные онтологии можно приближенно уподобить семантическим сетям, для которых обычно применяются графические нотации, алфавит которых основан на элементах графа. Однако логические языки, которыми описываются формальные онтологии, являются более выразительными, чем языки семантических сетей. Это обстоятельство требует, как это было отмечено ранее в работе [11], анализа, часто нетривиального, онтологии перед ее визуализацией. Заметим также, что в процессе визуализации какого-либо понятия, представленного в онтологии, важно передать идею этого понятия, которую автор в него вложил. Это в ряде случаев не сводится к просто отображению самого понятия и его непосредственных партнеров по отношениям, а требует их отбора в соответствии со значением понятия в предметной области. Наряду с этим важным является использование визуального выделения некоторых графических элементов, исходя из роли, которую играет для описания понятия представляемый ими компонент онтологии.

Будем далее использовать для таких визуальных метафор, используемых при представлении содержимого онтологии, понятие *когнитивный фрейм* (КФ). В какой-то степени оно является близким с известным понятием «Фрейм» Минского М., но имеет несколько иную цель. Так Минский определял фрейм, как структуру данных для представления стереотипной ситуации [12]. Таким образом, фрейм является своего рода моделью какого-либо объекта, явления, события, процесса. В нашем случае под КФ имеется в виду графическая структура, позволяющая представить идею уже существующего описания в онтологии некоторой сущности. То есть КФ обеспечивает своего рода метапредставление, способствующее восприятию человеком знаний из онтологии об объектах, процессах и явлениях, описанных другим человеком.

Основные требования к когнитивному фрейму

Далее рассмотрим требования к КФ, которые должны быть учтены при его формировании. К первому требованию относится компактность КФ. Оно основывается на ограничении Миллера [13], указывающее на возможность хранения в кратковременной памяти человека не более чем 7-9 объектов. Данное требование определяет допустимый предел числа компонентов КФ, не превышение которого позволяет человеку одновременно воспринять передаваемую им идею без дополнительных мыслительных операций по разбиению большего количества компонентов на группы. В случаях, когда удовлетворение данного требования затруднительно, можно прибегнуть к методам, описанным в работе [14], таким, как устранение несущественных деталей или выделение «ортогональных» (не пересекающихся) ракурсов

рассмотрения и создание нескольких когнитивных фреймов в виде иерархической структуры.

Наряду с этим также важно представлять в рамках одного КФ полную информацию о понятии в целом или, в случае ее большого объема, о понятии в рамках отдельной перспективы. Выполнение требования полноты и компактности когнитивных фреймов позволит человеку оперировать преимущественно кратковременной памятью, «загружая» в нее отдельные фреймы целиком, что потребует гораздо меньше умственных усилий, чем мысленный синтез образа из нескольких фреймов или их декомпозиция.

Важным требованием к КФ также является его «привычность» для пользователя. Это обусловлено тем, что КФ выполняет роль визуальной метафоры, которая предполагает представление некоторого неизвестного объекта посредством некоторого объекта-заместителя, известного и понятного пользователю. Чем более пользователь знаком с объектом-заместителем, тем больше знаний о нем пользователь сможет переложить на неизвестную сущность и тем самым проще и полнее познать ее и оперировать знаниями о ней.

Вероятно, данную особенность можно объяснить тем, что человек в процессе познания мира оперирует, так называемыми, когнитивными структурами. Их природа многогранна и неоднозначна. Как отмечается в работе [15], когнитивные структуры «отражают определенное видение мира человеком, способы концептуализации этого видения в языке, общие принципы категоризации и механизмы обработки информации, с точки зрения того, как в них отражается весь познавательный опыт человека, а также влияние окружающей среды». С понятием когнитивной структуры тесно связано понятие ментальной репрезентации или ментальной модели, которая определяется как некоторое знание в долговременной или кратковременной памяти, структура которого соответствует структуре репрезентируемой ситуации [16]. Когнитивная система индивида как иерархическая совокупность когнитивных структур позволяет ему составить представление о мире, опираясь исключительно на внутренние репрезентации [17]. Таким образом, в результате применения когнитивных структур к информации об окружающем мире человек формирует или дополняет в сознании ментальные модели объектов, предметов и явлений (рис. 1).

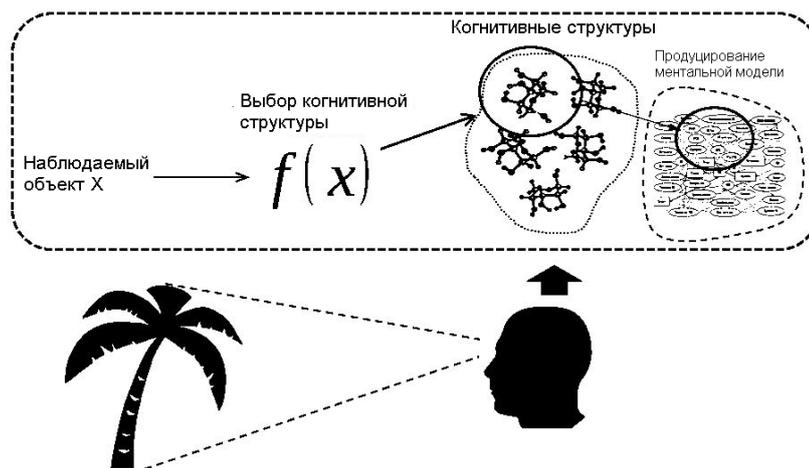


Рис. 1. Использование когнитивных структур в процессе познания

Соответственно, чем проще происходит процесс подбора и применения некоторой когнитивной структуры для обработки данных о новом объекте, процессе или явлении, тем меньше умственных усилий на это затрачивается. Метафора в этом случае позволяет автоматически повторно применить ту же когнитивную структуру к воспринимаемой сущности, что и к уже познанной, выступающей в роли метафоры. Заметим также, что в этом случае также продуцируется сходная ментальная модель, которую проще увязать в виду прошлого опыта с существующими моделями других сущностей и сохранить в памяти. Не зря одним из правил запоминания информации считается то, что понятое знание запоминается легче и на более долгий срок.

В связи с приведенными выше рассуждениями для обеспечения «привычности» КФ его структурные элементы и взаимосвязи между ними, а также их визуальное отображение должны:

- являться прототипом некоторой существующей ментальной модели в сознании человека;

- или явно задавать знакомый ракурс рассмотрения какого-либо объекта в рамках КФ для выбора адекватной когнитивной структуры в процессе познания.

Первое условие очевидно и следует из использования КФ как визуальной метафоры. Однако выполнить его в должной мере затруднительно, ввиду того, что применяемая для онтологий визуальная метафора – некая графовая структура – может представлять фактически любой объект. В этой связи человек будет рассматривать его с общих позиций, не воспринимая его специфику, обусловленную предметной областью.

Второе условие указывает на необходимость использования некоторых общепринятых правил визуализации онтологий. Они должны определять способ построения таких КФ, которые позволяли бы человеку быстро и просто «подбирать» адекватную когнитивную структуру для осмысления. Таким образом, появляется возможность представить более детальную информацию об объекте и при этом обеспечить ее понимание. Однако довольно важным в этом случае является вопрос формулировки общепринятых правил визуализации онтологий, которые должны определять различные структуры КФ. С точки зрения авторов отправной точкой для их задания может служить анализ онтологий верхнего уровня (ОВУ).

Основная идея разработки ОВУ состоит в том, что если при рассмотрении понятийных систем различных предметных областей постепенно повышать уровень абстракции, то на определенном шаге останется лишь небольшой инвариантный по отношению к ним набор понятий [18]. Это обуславливается тем, что в каждой предметной области мы имеем дело, по сути, с различными разновидностями объектов, процессов, свойств, отношений, пространств, временных промежутков, ролей, функций и т.д. Таким образом, онтология верхнего уровня определяет понятийную систему наиболее общих понятий и отношений. Необходимо заметить, что она также задает возможный взгляд на реальность, из которого следуют определенные способы описания знаний о предметных областях. В этой связи можно использовать онтологии верхнего уровня в качестве источников правил компоновки КФ. Заметим также, что ОВУ обычно являются результатом работы групп специалистов в области лингвистики, когнитологии, философии, концептуального и семиотического

моделирования. Из этого обстоятельства следует, что применение ОВУ в качестве основ при разработке онтологий предметных областей дает возможность представлять специфические понятия привычным для специалистов в различных областях знаний способом. Соответственно формулировка правил формирования КФ на основе результатов анализа подходов к представлению понятий в ОВУ, позволит гарантировать некоторую общепринятость таких правил и как следствие привычность КФ.

Формирование когнитивных фреймов

Введем формальное представление понятия «Когнитивный фрейм» в следующем виде:

$$KF = \langle CT, VS \rangle,$$

где CT является содержимым фрейма – некоторым фрагментом онтологии, VS – способ визуального представления содержимого.

Заметим, что в предыдущей работе [11] была представлена технология создания для OWL-онтологии ее упрощенной модификации – онтологии пользовательского представления (ОПП), направленной на непосредственную графическую визуализацию. В качестве основы ОПП используется модель SKOS [19], которая ориентирована на описание концептуальных схем, тезаурусов и семантических сетей. Язык SKOS проще, чем язык OWL и описанная с его помощью ОПП легко может быть визуализирована в виде графовой структуры. С учетом данного обстоятельства будем рассматривать содержимое КФ как некоторый фрагмент ОПП, то есть некоторый подграф, вершинами которого являются понятия, а дугами представлены отношения между ними. При этом из множества понятий выделяется целевое понятие, смысл которого должен передать фрейм. В качестве способа визуализации на данном этапе исследования была выбрана графовая структура (node-link diagram).

Для определения алгоритмов формирования содержимого КФ введем понятие « n -окрестность понятия t по некоторому отношению R », которым будем обозначать множество понятий, связанных отношением R через n промежуточных понятий. Обозначим множество всех видов отношений в онтологии $H = \{R_1, \dots, R_n\}$, где $R_m = \{r_z(k_i, o_j) : k_i, o_j \in V\}$ и $R_n \cap R_m = \emptyset$,

$n \neq m$.

Тогда окрестность определяется индуктивно следующим образом:

1. $L_0^{R_m}(t) = \{t\}$,

2. $L_n^{R_m}(t) = \{o_i : r_i(k_i, o_j) \wedge k_i \in L_{n-1}^{R_m}(t) \wedge r_i \in R_m\}$,

где $L_n^{R_m}(t)$ - n -ая окрестность понятия t по отношению вида R_m , o_j и k_i – понятия онтологии.

Общий вид содержимого КФ обозначим следующим образом:

$$CT(t) = \langle O, Z \rangle,$$

где $O \subseteq \{o_i : o_i \in \bigcup_{\substack{R_m \in H \\ n \in \mathbb{N}}} L_n^{R_m}(t)\}$, $Z = \{r_c(o_i, o_j) : o_i \in L_{f-1}^{R_m}(t), o_j \in L_f^{R_m}(t)\}$,

t – целевое понятие КФ, Z – множество отношений между понятиями КФ.

Таким образом, в общем виде КФ будет включать целевое понятие и некоторые понятия непосредственно и опосредованно связанные с ним.

Далее рассмотрим общие элементы, используемые в существующих онтологиях верхнего уровня, таких как DOLCE [20], BFO [21], GFO [22], CYC [23], SUMO [24], и вопрос формирования КФ на их основе. На данном этапе исследования были рассмотрены следующие общие отношения онтологий верхнего уровня:

- наследование указывает на то, что некоторое понятие (субконцепт) является разновидностью другого (суперконцепта). В таком случае субконцепт наследует отношения его суперконцепта;
- меронимия – отношение между понятием, обозначающим целое, и понятиями, обозначающими части этого целого;
- зависимость указывает на то, что существование одного понятия зависит от существования другого.

Большинство других отношений в онтологиях предметных областей можно рассматривать как разновидности представленных. Формирование содержимого КФ на основе общих отношений между понятиями позволит разбить визуальную информацию по принадлежности к различным ракурсам рассмотрения понятий и, тем самым, позволит избавить пользователя от дополнительных ментальных операций. «Общепринятость» отношений, в свою очередь, позволит гарантировать представление в рамках КФ знакомой пользователю точки зрения на понятие.

Отношение наследования является транзитивным и, как правило, определяет основную иерархию понятий в онтологии. Оно позволяет получить представление о категории самого понятия по его понятию-предку, а также о его разновидностях – по его понятиям-потомкам. Содержание, соответствующего данному отношению КФ, может быть сформировано с использованием следующего алгоритма:

Шаг 1. $CT(t) = \langle O, Z \rangle$, где $O = E_1 = L_1^{R_h}(t)$,

$Q_1 = Z = \{ \langle t, o_i \rangle : o_i \in L_1^{R_h}(t) \}$, $n = 1$, R_h - иерархическое отношение.

Шаг 2. Если $|E_n \cup L_{n+1}^{R_h}(t)| \leq LM$, где LM - предельное количество элементов во фрейме, то $E_{n+1} = E_n \cup L_{n+1}^{R_h}(t)$,

$Q_{n+1} = Q_n \cup \{ \langle k_j, o_i \rangle : k_j \in E_n, o_i \in E_{n+1} \}$, иначе $E_{n+1} = E_n$.

Шаг 3. Если $E_{n+1} = E_n$, то $O = E_{n+1}$, $Z = Q_{n+1}$ и работа алгоритма завершается, иначе $n = n + 1$ и переходим к шагу 2.

Согласно данному алгоритму в КФ на первом шаге будут включены все понятия, связанные с целевым непосредственно отношением наследования. На втором шаге будет предпринята попытка включить понятия из 2-й и далее из последующих окрестностей. В том случае если это становится невозможным из-за ограничения количества элементов, дополнения не производится, и алгоритм завершается.

Заметим, что в данном алгоритме и последующих на каждом шаге добавляются именно все понятия окрестности, а не их часть. Это позволяет полностью представлять в КФ уровни иерархии понятий по некоторому отношению R . Предполагается, что все понятия одного уровня образуют

целостный контекст, отражающий смысл целевого. Таким образом, включение их всех в содержимое КФ позволит обеспечить его смысловую целостность.

Следующим важным отношением, используемым при описании понятий различных предметных областей, является отношение партономии или отношение «часть - целое». Однако в отличие от отношения наследования ответ на вопрос о формировании содержимого КФ, соответствующего партономии не столь очевиден. Это связано с наличием разновидностей партономических отношений [26], таких как: функциональная часть – цельный объект (педаль-велосипед), элемент - коллекция (корабль - флот), порция - масса (кусок глины - глина), материал - объект (сталь - машина), этап - процесс (сдача экзаменов-обучение), место - территория (Красная площадь - Москва).

В ряде случаев это может приводить к парадоксам транзитивности. Примером может быть такой вывод: если «Концерт имеет - часть Дирижер», «Дирижер имеет - часть Рука», то «Концерт имеет - часть Рука». Разумеется, что наличие таких парадоксов КФ негативно отразится на его понимании.

Для решения данной проблемы можно предложить несколько правил установления транзитивности:

1. Учитывать транзитивность лишь по одной разновидности партономических отношений;
2. Рассматривать транзитивность партономии только между объектами имеющими одного предка [27];
3. Учитывать транзитивность лишь между базовыми разновидностями партономических отношений [28], такими как «функциональная часть – цельный объект», «порция - масса», «этап - процесс», «место - территория».

С учетом того обстоятельства, что как правило в онтологиях разновидности партономии явно не представлены, наиболее целесообразным с точки зрения универсальности применения является правило 2. Это предполагает добавление дополнительного условия при внесении понятий-частей в содержимое КФ на 2 шаге алгоритма его компоновки. Оно будет заключаться в требовании наличия некоторого одинакового числа супер-классов у целевого и добавляемого понятия. Количество одинаковых супер-классов определяется в зависимости от верхней части иерархии классов конкретной онтологии или выбранной в качестве ее основы онтологии верхнего уровня. Например, в случае использования онтологии верхнего уровня ВФО это число будет не менее 4, в этом случае получится избежать установления ошибочной транзитивности партономии между понятиями «Continuant» и «Occurrent», а также их подклассами.

Таким образом, алгоритм формирования КФ по отношению партономии будет иметь вид:

Шаг 1. $CT(t) = \langle O, Z \rangle$, где $O = E_1 = L_1^{R_m}(t)$,

$Z = Q_1 = \{ \langle t, o_i \rangle : o_i \in L_1^{R_m}(t) \}$, где R_m – отношение партономии, $n = 1$.

Шаг 2. Если $|E_n \cup (L_{n+1}^{R_m}(t) \setminus P)| \leq LM$,

$P = \{ o_i : o_i \in L_{n+1}^{R_m}(t) \wedge |SC(t) \cap SC(o_i)| \leq LC \}$, $SC(t)$, $SC(o_i)$ – множество супер-понятий для t и o_i , LC – требуемое число одинаковых супер-понятий, то

$$E_{n+1} = E_n \cup (L_{n+1}^{R_m}(t) \setminus P), \quad Q_{n+1} = Q_n \cup \{ \langle k_j, o_i \rangle : k_j \in E_n, o_i \in E_{n+1} \},$$

иначе $E_{n+1} = E_n$.

Шаг 3. Если $E_{n+1} = E_n$, то $O = E_{n+1}$, $Z = Q_{n+1}$ и работа алгоритма завершается, иначе $n = n + 1$ и переходим к шагу 2.

Далее рассмотрим формирование содержимого КФ на основе отношений зависимости понятий. Данное отношение проявляется, когда существование или важные качества одного понятия зависят от существования другого понятия. В этом случае является целесообразным отображать в рамках КФ те понятия, от которых зависит целевое.

Отношение зависимости, так или иначе, задано во всех существующих онтологиях верхнего уровня. Однако его представление осуществляется поразному. Во многом это связано с наличием различных видов зависимости сущностей, а также с разной точкой зрения авторов онтологий на существенность того или иного вида зависимости.

В основном в онтологиях верхнего уровня представлены следующие виды зависимости:

- общая (generic) и специфическая/жесткая (specific/rigid) зависимость. Общая указывает на зависимость одной сущности от существования любой другой, принадлежащих некоторому классу (зависимость существования автомобиля от его двигателя, в этом случае двигатель может быть заменен). Специфическая указывает на зависимость от существования конкретного экземпляра класса (зависимость существования человека от его мозга);

- концептуальная зависимость [29, 30] зависимость определенного качества от сущности, которая его несет. Например, качество «иметь цвет» зависит от существования автомобиля, который оно характеризует.

- постоянная (constant) и временная (temporal) зависимость. Постоянная зависимость проявляется постоянно между сущностями, а временная указывает на необходимость существования одной сущности перед появлением другой;

- внешняя зависимость [31] противопоставляется внутренней, определяет зависимость от внешних, то есть не являющихся частями или качествами, сущностей.

Заметим, что число разновидностей отношений зависимости в онтологиях верхнего уровня меньше, чем видов зависимости. Это обусловлено тем, что одно отношение может отражать несколько видов зависимости, непротиворечащих друг другу.

Устанавливать транзитивное замыкание в процессе формирования содержимого когнитивного фрейма для избегания парадоксов следует учитывать одну разновидность отношения. Это обусловлено тем, что зависимость, чаще, чем партиципация, может связывать сущности совершенно разных типов. Поэтому правило единого предка здесь не подходит.

Обозначим $D = \{R_1, \dots, R_n\} \subseteq H$ – множество всех видов отношений зависимости в онтологии. В этом случае в алгоритме компоновки КФ, соответствующего данному отношению, на 1-м шаге включаются понятия, связанные любым видом отношений зависимости с целевым непосредственно.

На 2-м шаге добавляются их понятия-соседи, связанные с ними тем же типом отношений зависимости.

Формально можно представить алгоритм следующим образом:

$$\text{Шаг 1. } KF(t) = \langle O, Z \rangle, \text{ где } O = E_1 = \bigcup_{R_m \in D} L_1^{R_m}(t),$$

$$Z = Q_1 = \bigcup_{R_m \in D} \{ \langle t, o_i \rangle : o_i \in L_1^{R_m}(t) \}, \quad n = 1.$$

Шаг 2. Если $|E_n \cup F| \leq LM$,

$$F = \bigcup_{R_m \in D} \{ f_p : f_p \in L_{n+1}^{R_m}(t) \wedge \exists r_k(n_j, f_p) \in R_m \wedge n_j \in L_n^{R_m}(t) \},$$

то $E_{n+1} = E_n \cup F$, $Q_{n+1} = Q_n \cup \{ \langle k_j, o_i \rangle : k_j \in E_n, o_i \in E_{n+1} \}$,

иначе $E_{n+1} = E_n$.

Шаг 3. Если $E_{n+1} = E_n$, то $O = E_{n+1}$, $Z = Q_{n+1}$ и работа алгоритма завершается, иначе $n = n + 1$ и переходим к шагу 2.

Рассмотренные алгоритмы формирования КФ, основанные на учете инвариантных к предметным областям отношений, определяют своего рода общие формы визуального представления любых понятий. Однако в прикладных OWL-онтологиях у понятий может быть представлена также и особая семантика, обусловленная предметной областью или задачей. Как правило, она заключена в специфических отношениях, а также аксиомах эквивалентности и наследования, содержащих в своих частях некоторое логическое выражение, определяющее анонимный класс. Важным является вопрос ее представления в рамках КФ.

В предыдущей работе [11] авторами был предложен способ визуализации OWL-аксиом, включающих определения анонимных классов. В общем, он заключается в приведении аксиомы к дизъюнктивной нормальной форме и представлении отдельных конъюнктов (субаксиом) в виде SKOS-концептов (рис. 2).

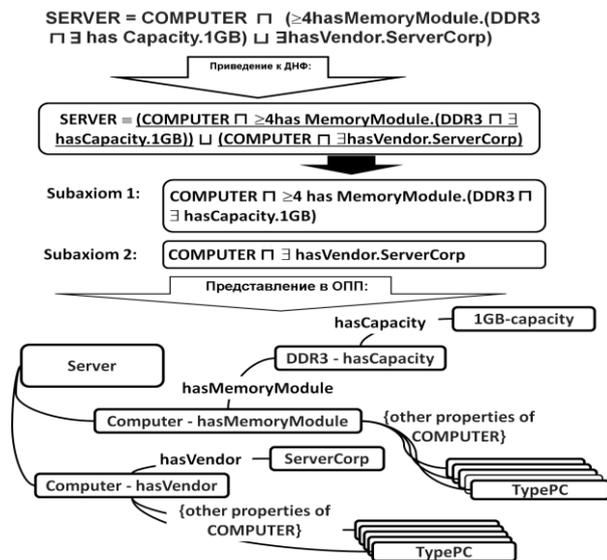


Рис. 2. Анализ и представление сложных OWL-аксиом в ОПП

Таким образом, можно рассматривать OWL-аксиому как совокупность понятий-субаксиом, связанных с целевым отношением «related». Их визуализация будет осуществляться в рамках специальных КФ. Помимо понятий-субаксиом, в специальные КФ будут включаться понятия, связанные с целевым отношением, не отнесенные к рассмотренным ранее общим типам. При этом во избежание «перегрузки» КФ на первом шаге будут включены понятия-соседи только целевого понятия, а не наследованные от супер-понятий. Последние будут добавлены на следующих шагах, если это возможно. То есть на каждом шаге будет рассматриваться супер-понятие более высокого уровня иерархии.

Формально алгоритм формирования содержимого специального фрейма имеет следующий вид:

Шаг 1. $CT(t) = \langle O, Z \rangle$, где $O = E_1 = L_1^{SR}(t) \cup A \cup J$, SR – вид отношений с понятием-субаксиомой $SR \in H$,

$$A = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} \{a_i : \exists r(g_j, a_i) \wedge g_j \in L_n^{SR}(t) \wedge a_j \in L_{n+1}^{SR}(t)\} - \text{множество понятий-субаксиом, связанных с целевым опосредованно,}$$

где $J = P(t) \setminus \bigcup_{u_k \in SC(t)} P(u_k)$, $P(t)$ – множество понятий, связанных с понятием t специфическими отношениями, $SC(t)$ – множество супер-понятий для t ,

$$Z = Q_1 = \{\langle t, o_i \rangle : o_i \in (J \cup L_1^{SR}(t))\} \cup \{\langle h_j, b_k \rangle, h_i, b_k \in A, h_i \neq b_k\},$$

$n = 1$.

$$\text{Шаг 2. Если } |E_n \cup J_{n+1}| \leq LM, J_{n+1} = P(t) \setminus \bigcup_{u_k \in SC(b_n)} P(u_k),$$

где LM – предельное количество элементов во фрейме, b_n – супер-понятие целевого t с n -го ближайшего уровня иерархии, то $E_{n+1} = E_n \cup J_{n+1}$,

$$Q_{n+1} = Q_n \cup \{\langle k_j, o_i \rangle : k_j \in E_n, o_i \in E_{n+1}\}, \text{ иначе } E_{n+1} = E_n.$$

Шаг 3. Если $E_{n+1} = E_n$, то $O = E_{n+1}$ и $Z = Q_{n+1}$ работа алгоритма завершается, иначе $n = n + 1$ и переходим к шагу 2.

Заключение

В данной работе рассмотрена проблема визуализации OWL-онтологий для облегчения понимания пользователем представленных в ней знаний о предметной области. Для решения данной задачи предлагается выделять в онтологии фрагменты и визуализировать их в рамках специальных структур – когнитивных фреймов. Формирование данных структур осуществляется с помощью алгоритмов, принимающих во внимание межпонятийные отношения, определенные в онтологиях верхнего уровня, а потому инвариантные к предметным областям и, так или иначе, присутствующие в большинстве прикладных онтологий. Это позволяет задавать КФ, отражающие типовые точки зрения на понятия, и тем самым обеспечивать их привычность для пользователя.

При этом формирование содержимого КФ происходит также с учетом психологических ограничений возможностей человеческой памяти. Таким образом, предлагаемый в работе подход к визуализации онтологий на основе КФ позволит облегчить понимание ее пользователем.

К направлениям дальнейшей работы можно отнести рассмотрение общих понятий онтологий верхнего уровня и определение соответствующих им КФ, разработка механизмов навигации по полученной КФ, а также экспериментальная оценка когнитивных возможностей предложенной системы визуализации.

Литература

1. Bernardo C., Ian H., Boris M., Parsia B., Peter F. P., Sattler U. OWL 2: The next step for OWL. *J. Web Sem.* 6(4), 2008. –P.309-322.
2. Horridge M., Drummond N., Goodwin J., Rector A., Stevens R., Wang H. The Manchester OWL Syntax // *Proceeding of the 2006 OWL Experiences and Directions Workshop (OWLED)*, V.216, Athens, 2006.
3. Bergh J.R., *Ontology comprehension /University of Stellenbosch, Master Thesis, 2010.*
4. Bauer J. Model exploration to support understanding of ontologies // *Master's thesis, Technische Universität Dresden, 2009.*
5. Ellson J., Gansner E.R., Koutsofios L., North S., Woodhull G. Graphviz. Open source graph drawing tools proceedings // *Graph Drawing.* – 2002. – P.483-484.
6. Katifori A., Halatsis C., Lepouras G., Vassilakis C., Giannopoulou E. // *Ontology visualization methods – A survey. ACM computing surveys, 39(4):10, 2007.*
7. H. Alani TGVizTab: An Ontology Visualisation Extension for Protege, Knowledge Capture 03 - Workshop on Visualizing Information in Knowledge Engineering Sanibel Island, FL: ACM, 2003. – P.2-7.
8. Bosca D. Bonino P. Pellegrino. OntoSphere: More than a 3D ontology visualization tool. In SWAP, the 2nd Italian semantic web workshop, 2005.
9. Averbukh V.L. Toward formal definition of conception adequacy in visualization// *Proc. 1997 IEEE Symp. on Visual Languages, Sept. 23-26, 1997. Isle of Capri, Italy. S. 1.: IEEE Comput. Soc, 1997. -P.46-47.*
10. Валькман, Ю.Р. Когнитивные графические метафоры: когда, зачем, почему и как мы их используем / Ю.Р. Валькман // *Знания–Диалог–Решение (KDS–95): труды Междунар. конференции, г. Ялта, 1995. -С.261–272.*
11. Ломов, П.А., Преобразование OWL-онтологии для визуализации и использования в качестве основы пользовательского интерфейса / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев, В.В. Диковицкий // *Онтология проектирования. – Самара: Новая техника, 2012. - №3. -С.49-61. ISSN 2223-9537*
12. Минский, М. Фреймы для представления знаний /М. Минский: Пер с англ./ под ред. Ф.М. Кулакова. – М.: Энергия, 1979. – 151 с.
13. Miller G.A. «The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information». *Psychological Review* 63 (2), 1956. – P.81–97.
14. Зюбин, В.Е. Графические и текстовые формы спецификации сложных управляющих алгоритмов: непримиримая оппозиция или кооперация? / В.Е. Зюбин // *сб. тр. VII Междунар. конференции по электронным публикациям "EL-Pub2003". - Новосибирск, Академгородок, 2003. -С.8-10.*
15. Болдырев, Н.Н. Когнитивная семантика: Курс лекций по английской филологии / Н.Н. Болдырев. -Тамбов: Изд-во Тамбовского унив., 2000. -123 с.
16. Johnson-Laird P.N. *Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness / Cambridge, VA: Harvard Univ.Press, 1983.–246 p.*

17. Психология общения. Энциклопедический словарь /под общ. ред. А.А. Бодалева. – М.: Изд-во «Когито-Центр», 2011. -600 с.
18. Hoehndorf R. What is an upper level ontology?
- Режим доступа: <http://ontogenesis.knowledgeblog.org/740>
19. Jupp S., Bechhofer S., Stevens R. SKOS with OWL: Don't be Full-ish! // In proceeding of the Fifth OWLED Workshop on OWL: Experiences and Directions, Karlsruhe, Germany, October 26-27, 2008. –Режим доступа: http://www.webont.org/owled/2008/papers/owled2008eu_submission_22.pdf
20. Masolo C., Borgo S., Gangemi A., Guarino N., Oltramari A., Shneider L. WonderWeb. Final Report // Deliverable D18, 2003.
21. Grenon P. Spatio-temporality in Basic Formal Ontology: SNAP and SPAN, Upper-Level Ontology, and Framework for Formalization: Part I. IFOMIS Report 05/2003 // Institute for Formal Ontology and Medical Information Science (IFOMIS), University of Leipzig, Leipzig, Germany, 2003.
22. Herre H. General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling // In Theory and Applications of Ontology: Computer Applications, 2010. -P.297-345.
23. Cyc Ontology Guide: Introduction. –Режим доступа: <http://www.cyc.com/cyc-2-1/intro-public.html>.
24. Niles I., Pease A. Towards a Standard Upper Ontology. In Welty, C., Smith, B. (eds.) Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001) / Ogunquit, Maine, October 17-19, 2001.
25. Gerstl P., Pribenow S. A conceptual theory of part-whole relations and its applications / Data and Knowledge Engineering, 1996. -V.20. -P.305-322.
26. Cruse D. Lexical Semantics. Cambridge: University Press, 1986.
27. Motschnig-Pitrik, R., Kaasboll, J.: Part-Whole Relationship Categories and their Application in Object-Oriented Analysis / IEEE TSE, 1999. -V.11(5)/-P.779-797.
28. Masolo C., Borgo S., Gangemi A., Guarino N., Oltramari A., Shneider L. /WonderWeb. Final Report. Deliverable D18, 2003.
29. Gangemi A., Navigli R., Velardi P. The OntoWordNet project: extension and axiomatisation of conceptual relations in wordnet /International Conference on On-tologies, Databases and Applications of Semantics (ODBASE), Catania (Italy), 2003.
30. Guarino N., Welty C. A Formal Ontology of Properties. In Knowledge Engineering and Knowledge Management: Methods, Models and Tools / 12th International Conference, EKAW 2000, Springer Verlag, 2000. –P.97-112.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,

e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev - Dr. of Sci (Tech), Head of laboratory

Ломов Павел Андреевич – к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: lomov@iimm.kolasc.net.ru

Pavel A. Lomov – Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

УДК 004.5

М.Г. Шишаев, П.А. Ломов, В.В. Диковицкий

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ МУЛЬТИПРЕДМЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ*

Аннотация

В работе рассмотрена постановка задачи построения когнитивных интерфейсов мультимедийных информационных систем. Предложена оценка качества интерфейса, основанная на соответствии семантической структуры навигационных связей ментальной модели пользователя.

Ключевые слова:

онтология, пользовательский интерфейс, мультимедийные ресурсы.

FORMALIZATION PROBLEM OF CONSTRUCTING COGNITIVE USER INTERFACES FOR MULTIDOMAIN INFORMATION RESOURCES

Abstract

The paper considers the formulation of the problem of constructing cognitive interfaces multidomain information systems. The estimation of the quality of the interface, based on according semantic structure navigation links and mental model of the user.

Key words:

ontology, user interface, multidomain resources.

Введение

В настоящее время в глобальных информационных сетях получают все более широкое распространение информационные ресурсы (в частности – веб-сайты), ориентированные на разнородных пользователей, под которыми имеются в виду лица, принадлежащие разным возрастным категориям, различным социальным слоям, имеющие различные культурные традиции и области профессиональных интересов и т.д. Назовем данную разновидность ресурсов *мультимедийными информационными ресурсами*. Подобные ресурсы можно противопоставить специализированным информационным ресурсам, нацеленным на поддержку некоторого единственного сообщества пользователей, определяемого возрастом, профессиональными или досуговыми интересами и т.п. Назовем такие сообщества *категориями пользователей*.

Примерами мультимедийных информационных ресурсов являются новостные сайты, а также ресурсы, предоставляющие справочную информацию

* Работа выполнена в рамках проекта №2.8 программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация», при поддержке РФФИ (грант № 13-07-01016 «Методы динамического синтеза когнитивных интерфейсов мультимедийных информационных систем»).

о некоторой территории или ином объекте, представляющем интерес для пользователей различных категорий.

Мультипредметные ресурсы выдвигают специфические требования к качеству их пользовательского интерфейса. В некотором смысле, они должны «угодить всем» – обеспечить удобный интуитивно понятный механизм доступа к информации для пользователей разных категорий. Однако, вследствие различий в представлениях последних об окружающем мире (ментальных моделях), данное требование труднодостижимо.

Выходом из ситуации может служить динамическое формирование пользовательского интерфейса, адаптированного под актуального пользователя в данный момент использующего ресурс. Сегодня уже существуют некоторые информационные технологии, в той или иной мере способствующие решению этой задачи – каскадные таблицы стилей, облака тегов, и т.п. Однако упомянутые технологии решают лишь техническую задачу генерации пользовательских интерфейсов, отвечая на вопрос «как сформировать интерфейс», оставляя без ответа вопрос «каким должен быть интерфейс мультипредметного ресурса для данного пользователя».

Для правильного ответа на данный вопрос, определяющего последующую успешность применения технологий динамической генерации пользовательских интерфейсов необходимы четкие критерии качества интерфейса и соответствующие средства идентификации категорий пользователей.

Модель ресурса и категории пользователей

Будем понимать под ресурсом коллекцию документов, содержимое которых (контент) оперирует в смысле синтаксиса языка документа некоторым множеством понятий, складывающихся тем или иным образом в логическую систему. Логическая система образуется заданием на данном множестве понятий C различных семантических связей L , определяющих допустимые с точки зрения создателя документа способы взаимной интерпретации понятий из C :

$$KB = \{C, L\},$$

где C - множество понятий (концептов), L - множество отношений над понятиями.

Подобную систему в современной ИТ-науке принято называть онтологией [1]. Назовем систему, описывающую контент информационного ресурса *онтологией ресурса*. Обратим внимание, что отношения на множестве понятий онтологии могут быть как симметричными, так и асимметричными. Наиболее распространенным примером симметричного отношения является отношение ассоциации. Например, в онтологии могут быть определены понятия «регион» и «административно-территориальная единица», связанные данным отношением. Примерами асимметричных отношений являются «есть составная часть», «есть разновидность», и другие. Асимметричные отношения обычно используются для формирования классификации понятий некоторой предметной области. При этом один из концептов, участвующих в двухместном асимметричном отношении, может рассматриваться как *атрибут* другого.

Ментальная модель человека, использующего информационный ресурс, также может быть представлена в виде логической системы – *онтологии пользователя*. Данная онтология характеризует взаимосвязь вещей в природе с точки зрения пользователя. Отметим, что (вследствие, вероятно, социальной природы человека) представления различных людей об окружающем мире в целом мало отличаются, что выражается в схожести структур различных пользовательских онтологий. Однако люди, различающиеся по различным признакам, таким, например, как принадлежность к социальным группам, возраст, пол, род профессиональной деятельности и другие, в процессе жизнедеятельности, как правило, оперируют различными фрагментами своих онтологий с разной интенсивностью. О ментальных различиях между группами людей, объединенных общей культурой или профессией, и «внутригрупповой» общности свидетельствуют, в частности, исследования в области психологии восприятия [2]. В данном случае эти различия и общность выражаются в существовании так называемых перцептивных стереотипов, определяющих общие для группы людей особенности восприятия информации [3]. Для практического использования в рамках современных информационных систем данные зависимости должны быть формализованы.

Можно заметить, что для определенного профессионального сообщества или для определенной социальной или культурной общности людей имеют место общие представления о некоторых объектах или задачах. Эта общность выражается в схожем ранжировании атрибутов понятий по значимости. При этом наиболее важные для человека (в контексте информационных систем – для пользователя) атрибуты играют роль свойств, идентифицирующих объект. Например, в ментальной модели человека категории «управленец» экземпляр понятия «Регион РФ (область, край, республика)» будет идентифицироваться значениями атрибутов, характеризующих структуру экономики и политическую ситуацию на территории. В то же время для пользователя категории «турист» экземпляр этого же понятия идентифицируется атрибутами, описывающими туристические возможности региона – туристические объекты, основные доступные виды туризма и отдыха, и т.п. К примеру, Мурманская область для управленца может ассоциироваться с горнодобывающей и рыбной промышленностью, развитой военной инфраструктурой, составом административных органов региона. Тогда как для туриста, Мурманская область – это рыбалка, горные лыжи, Кольская сверхглубокая и т.д. При этом для второй категории пользователей такие атрибуты региона, как структура экономики и политической власти являются, если и известными, то несущественными (рис. 1).

В этой связи можно определить на множестве атрибутов понятий отношение порядка, определяющее значимость атрибута для данного пользователя. Тогда некоторое количество наиболее значимых атрибутов (в представлении конкретного человека) будет идентифицировать объект окружающего мира как принадлежащий к тому или иному классу. Назовем это подмножество наиболее значимых атрибутов *идентифицирующими атрибутами*. Можно предположить, что для некоторой категории пользователей наборы идентифицирующих атрибутов для некоторого подмножества понятий окружающего мира будут близкими или идентичными.

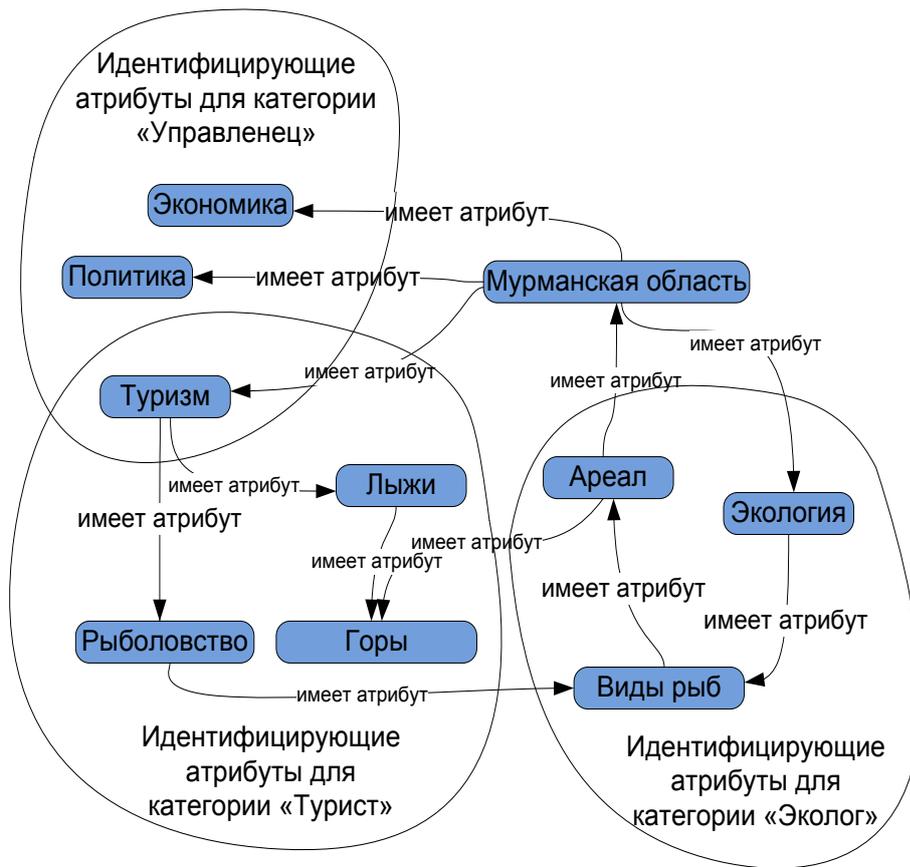


Рис. 1. Идентифицирующие атрибуты понятия «Мурманская область» для различных категорий пользователей

Пусть C - некоторое множество понятий, U – множество пользователей. Множество атрибутов концепта c будем обозначать следующим образом:

$$A(c) = \{a(c)_i\}, a(c)_i \in C, i = \overline{1, N_c}.$$

Упорядочив множество атрибутов по убыванию степени их значимости для пользователя u , получим последовательность, характеризующую его представление о данном концепте:

$$A^u(c) = \{a^u(c)_i\}, i = \overline{1, N_c} : a^u(c)_i \varphi^u a^u(c)_j, \forall i \leq j,$$

где φ^u - отношение, задающее значимость атрибутов для пользователя u ; $a \varphi^u b$ означает, что «для пользователя u a не менее значим, чем b ».

Также можно определить группу пользователей, имеющих схожие представления о понятиях из некоторого множества C . Назовем подобную группу пользовательской категорией k -го порядка на множестве концептов C и определим ее следующим образом:

$$U_c^k = \{u \mid a^u(c)_i = a^{u'}(c)_i, i = \overline{1, k}, \forall c \in C, \forall u' \in U_c^k\}. \quad (1)$$

То есть, для всех пользователей из категории U_c^k совпадают k наиболее значимых (идентифицирующих) атрибутов для всех концептов из множества C . В более мягкой форме (без требования совпадения порядка атрибутов по значимости) это условие выглядит следующим образом:

$$U_c^k = \{u \mid \{a^u(c)_i\} = \{a^{u'}(c)_i\}, i = \overline{1, k}, \forall c \in C, \forall u' \in U_c^k\}. \quad (2)$$

Можно заметить, что при $k = const$ пользовательские категории, сформированные в соответствии с условием (1) или (2), образуют разбиение исходного множества пользователей на непересекающиеся подмножества:

$$U = U_1 \cup \dots \cup U_L, \bigcap_{i=1, L} U_i = \emptyset.$$

Несмотря на схожесть формулировок условий (1) и (2), их свойства существенно отличаются. Так, в случае использования условия (1) размер пользовательских категорий для некоторого фиксированного концепта c будет невозрастающей функцией от k с нижней гранью равной 1 и областью значений $[1, |U|]$. В то же время, для условия (2) размер категорий может свободно изменяться в пределах от 1 до $|U|$ и достигать максимума, равного $|U|$, при $k = N_c$.

Модель навигационного интерфейса

Пользовательский интерфейс ресурса имеет две основных составляющих – это внешнее оформление (дизайн) и навигационная структура. Если качество первого компонента является исключительно субъективной категорией и вряд ли может быть оценено формально, то для оценки качества навигационной структуры ресурса можно использовать степень ее соответствия ментальной модели пользователя. При этом должна рассматриваться семантика навигационной структуры (семантическая структура интерфейса). Чем более схожими являются семантическая структура интерфейса и ментальная модель пользователя, тем более удобным и понятным для конечного пользователя будет интерфейс. Последний в этом случае будет способен «предугадывать» образ мыслей пользователя и визуализировать фрагмент понятийной системы ожидаемым для него способом. Будем далее именовать меру соответствия семантической структуры интерфейса ментальной модели пользователя *когнитивностью* интерфейса. Далее рассматривается формализованное описание навигационной структуры и основанная на нем количественная оценка когнитивности пользовательского интерфейса.

Итак, пользовательский интерфейс представляет собой пару:

$$UI = \langle I, s \rangle,$$

где I – множество информационных элементов; s – навигационная структура.

Навигационная структура определяет иерархию групп информационных элементов (ИЭ) или доступных для пользователя действий. При этом на каждом уровне иерархии исходное множество информационных элементов (будем для простоты полагать, что доступное пользователю действие является частным случаем ИЭ) делится на подмножества в соответствии с одним или несколькими

классификационными признаками. В качестве классификационных признаков используются атрибуты понятий предметной области. Очевидно, что при использовании на одном уровне навигационной структуры нескольких признаков, полученные множества ИЭ могут пересекаться. Введем следующие обозначения:

$\Gamma^l = \{G_i^l\}$ - множество разделов l -го уровня навигационной структуры;

G_i^l - i -я группа информационных элементов l -го уровня навигационной структуры;

$P^l = \{p_i^l\}$ - множество классификационных признаков, используемых для формирования групп ИЭ на l -м уровне навигационной структуры.

Заметим, что использование информационной системы представляет собой, по сути, поиск некоторых информационных элементов по имеющемуся у человека образу. При этом образ, чаще всего, неточный: в нем специфицируются лишь некоторая часть идентифицирующих атрибутов. Вследствие этого, пользователь с разной степенью уверенности может предполагать в какой из групп ИЭ на некотором уровне навигационной структуры находится искомый элемент. Эта уверенность тем выше, чем более точно представляет пользователь потенциальное содержимое группы. Введем следующую функцию, задающую числовую оценку степени уверенности пользователя u (чем выше значение, тем выше степень уверенности):

$$p^u : \Gamma^l \rightarrow [0,1].$$

Оценка времени, требуемого для доступа к искомому информационному элементу в рамках навигационной структуры на l -м уровне, будет равна

$$O\left(\frac{\max_i |G_i^l|}{p^u(G_i^l)}\right).$$

Таким образом, при прочих равных, степень уверенности пользователя в принадлежности информационного элемента к той или иной группе определяет качество интерфейса в смысле скорости доступа к требуемой информации.

Сделаем следующее предположение: если для формирования навигационной структуры на некотором уровне иерархии используются идентифицирующие атрибуты, то пользователь с высокой долей уверенности сможет определить, в какой группе находится искомый информационный элемент. Обозначим через $w^u(a) \in [0,1]$ нормированный вес атрибута a в ментальной модели пользователя u . Тогда, с учетом указанного предположения:

$$p^u(G_i^l) = \max_{a \in P^l} w^u(a).$$

То есть мы предполагаем, что если на l -м уровне используется несколько классификационных признаков для группирования информационных элементов, то пользователь оперирует той частью навигационной структуры, которая определяется наиболее значимым с его точки зрения атрибутом понятия верхнего уровня.

Поскольку при таком определении значение функции $p^u(G_i^l)$ не зависит от группирования информационных элементов как такового, а зависит лишь от уровня навигационной структуры, будем далее использовать редуцированную запись $p^u(l)$.

Пусть навигационная структура интерфейса имеет глубину \hat{l} уровней. Тогда в качестве количественной оценки когнитивности интерфейса для пользователя u может использоваться сумма:

$$\sum_{l=1}^{\hat{l}} p^u(l).$$

Данная мера может использоваться для оценки уже существующих интерфейсов, когда известно значение \hat{l} . Для решения же прямой задачи, то есть структуризации исходного множества информационных элементов в рамках навигационной структуры, требуется учитывать дополнительные ограничения. Эти ограничения обусловлены психологией восприятия человека, ограничивающей максимальное количество одновременно эффективно воспринимаемых объектов. Вследствие этого необходимо ограничивать размер группы информационных элементов, а также глубину навигационной структуры.

С учетом сказанного, оптимальная для пользователя u структура интерфейса есть решение следующей задачи с ограничениями:

$$\begin{aligned} \max_s \sum_{l=1}^{\hat{l}(s)} p^u(l) \\ g(s) \leq K, \\ \hat{l}(s) \leq K'. \end{aligned}$$

здесь $\hat{l}(s)$ - количество уровней в навигационной структуре s ; $g(s)$ - максимальный размер группы информационных элементов $\hat{l}(s)$ -го в навигационной структуре s ; K – когнитивная константа, определяющая максимальное число одновременно предъявляемых пользователю информационных элементов для их эффективного восприятия; K' – когнитивная константа, определяющая максимальное число уровней навигационной структуры, в рамках которых поиск информации для пользователя остается комфортным.

Заключение

Рост объемов информации, обрабатываемой современными информационными системами, обуславливает необходимость развития технологий оперативного доступа в ней. Одним из путей решения данной проблемы является построения адаптивных пользовательских интерфейсов, способных предоставить пользователю необходимый функционал для оперирования большими массивами данных, в соответствии с его информационными потребностями. В данной работе рассмотрена формальная постановка задачи построения адаптивных интерфейсов мультипредметных информационных

систем, предложена оценка качества интерфейса как меры соответствия навигационной структуры ментальной модели пользователя.

В виду того, что для получения качественной навигационной структуры необходимо учитывать категорию, к которой принадлежит пользователь, необходимо провести общую классификацию пользователей. Для этого можно использовать статистику обращений пользователей к тем или иным понятиям логической системы ресурса и/или определять категорию пользователя на основе данных, указанных им при регистрации в системе. Категоризация пользователей может быть сформулирована как задача многомерной кластеризации [4]. Для формирования навигационной структуры интерфейса необходимо определить идентифицирующие атрибуты понятий текущей категории пользователей путем отображения ментальной модели группы пользователей на логическую систему ресурса.

Литература

1. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации / А.В. Смирнов и др. // Новости искусственного интеллекта. -2002. - Ч.1. -№1. -С.3–13.
2. Koffka, K. Principles of Gestalt psychology /К. Koffka. -New-York., Routledge, 1935. - 720 p.
3. Салвенди, Г. Человеческий фактор /Г. Салвенди. - М: Мир, 1991. ISBN 5-03-001710-0.
4. Ковалёв, С.С., Шишаев, М.Г. Современные методы кластеризации в контексте задачи идентификации рассылок почтового спама /С.С. Ковалев, М.Г. Шишаев / Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. –4/2012(11). – Вып.3. -С.89-99.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,
e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev – Dr. of Sci (Tech), Head of laboratory

Ломов Павел Андреевич – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: lomov@iimm.kolasc.net.ru

Pavel A. Lomov – Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

Диковицкий Владимир Витальевич – младший научный сотрудник,
e-mail: dikovitsky@iimm.kolasc.net.ru

Vladimir V. Dikovitsky – Junior researcher

УДК 004.7, 004.45

П.А. Коробейников, М.Г. Шишаев

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАВИГАЦИОННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ТИПОВЫХ ВЕБ-РЕСУРСОВ*

Аннотация

В статье представлены результаты исследования семантической структуры навигационных интерфейсов типовых веб-ресурсов. Показано, что навигационный интерфейс ресурсов различных тематических категорий основан на семантических связях одного-двух доминирующих типов. Сделан вывод о перспективности разработки технологии автоматизированной генерации навигационных интерфейсов, адаптированных под ментальные модели пользователей.

Ключевые слова:

семантическая связь, веб-ресурс, навигационный интерфейс.

P.A. Korobeynikov, M.G. Shishaev

STUDY OF SEMANTIC STRUCTURE OF REFERENCE INTERFACE FOR TYPICAL WEB RESOURCES

Abstract

The article presents the results of a study of the semantic structure of a reference interface for typical web resources. It is shown that the reference interface for resources of various thematic categories is based on semantic relations of one or two dominant types. It is concluded that development of technology for automated generation of reference interfaces adapted to the mental models of users has good prospects.

Key words:

semantic link, web-resource, reference interface.

Введение

В настоящее время в Интернете существует огромное количество веб-ресурсов, которые, в зависимости от характера контента, могут быть разделены на различные типы – новостные ресурсы, сайты коммерческих организаций, сайты образовательных учреждений, и т.д. Эффективность доступа к информации в пределах данных ресурсов зависит от того, каким образом структурировано их информационное наполнение в рамках навигационного интерфейса. Привычным способом структуризации знаний для человека является построение разного рода классификаций, основанных на том или ином признаке, и организующих информацию в иерархическую или подобную структуру. Понимание

* Работа выполнена в рамках проекта №2.8 программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация», при поддержке РФФИ (грант № 13-07-01016 «Методы динамического синтеза когнитивных интерфейсов мультипредметных информационных систем»).

семантической структуры навигационных интерфейсов веб-ресурсов различных типов позволило бы сделать процесс формирования этих интерфейсов более осознанным, и, в перспективе, обеспечить автоматизированное формирование интерфейсов, в наибольшей степени простых для восприятия тем или иным пользователем.

Авторами статьи было сделано предположение о доминировании некоторых типов классификационных признаков в рамках навигационных структур интерфейсов веб-ресурсов. Для проверки этого предположения было проведено небольшое исследование, результаты которого представлены в данной работе. Были рассмотрены несколько категорий веб-ресурсов, различающихся тематикой, и для каждой категории выделены семантические связи, служащие основой для построения навигационной структуры соответствующих ресурсов.

Классифицирующие семантические связи

Существует огромное количество семантических отношений, определяющих взаимозависимость между двумя понятиями. В рамках данного исследования были выбраны лишь те из них, которые, по мнению авторов, наиболее часто используются как основа семантической структуры навигационных интерфейсов веб-ресурсов. Ниже перечислены семантические связи, используемые в рамках исследования:

- *Active relation*. Семантическое отношение между двумя понятиями, одно из которых выражает выполнение действия, затрагивающего другое понятие;

- *Associative relation*. Отношение, которое определяется психологически. Пример: понятие А ментально связано с понятием В. Часто, ассоциативные связи – это просто неклассифицированные отношения;

- *“Instance of” relation*. Отношение определяет семантическую связь между общим понятием и отдельными случаями общего понятия. Пример: Москва – случай (instance) общего понятия “столица”;

- *Locative relation*. Семантическое отношение, в котором понятие указывает на местоположение объекта, определяемого другим понятием;

- *“Part of” relation*. Является меронимией, то есть отношением между целым и его частями.

Следующие три семантические связи являются частными случаями отношения “гипоним - гипероним” (иерархическая зависимость):

- *“Kind of” relation*. Пример: А – вид В;

- *“Narrower than” relation*. Пример: понятие А более узкое, чем понятие В;

- *“Broader than” relation*. Пример: понятие А шире понятия В.

Результаты исследования

Главная страница – наиболее важная страница на большинстве веб-ресурсов, ее просматривают намного чаще, чем какие-либо другие страницы ресурса. Поэтому исследованию подлежали гиперссылки первого уровня, то есть гиперссылки главной страницы. Для данного исследования были выбраны по четыре ресурса в каждой из пяти тематических категорий: «автомобильные»,

«новостные», «спортивные», «корпоративные», «образовательные учреждения». Каждой гиперссылке и начальной веб-странице ставилось в соответствие наиболее близкое по смыслу понятие. Далее между двумя понятиями устанавливалась одна из выше приведенных семантических связей. Подлежащие исследованию ресурсы и количество классифицированных связей в каждом из них представлены в таблице.

Количества семантических связей в навигационной структуре веб-ресурсов

Ресурс/ Тип связи	part of	kind of	instance of	partower than	broader than	active	locative	associative
Новостные								
Яндекс.Новости: http://news.yandex.ru/	39	18	0	0	0	2	1	9
NEWSru.com: http://newsru.com/	184	102	0	46	1	2	0	11
Infox.ru: http://www.infox.ru/	156	26	0	0	0	3	1	28
Новости@Mail.Ru: http://news.mail.ru/	74	28	0	1	2	3	0	12
Авто								
AUTO.RU: http://auto.ru/	21	65	0	22	3	2	1	27
Авто@Mail.Ru: http://auto.mail.ru/	2	45	13	0	2	1	1	36
Drom.ru: http://www.drom.ru/	3	14	16	0	1	2	0	65
Авторамблер: http://autorambler.ru/	0	43	55	0	0	4	0	29
Спортивные								
СПОРТ-ЭКСПРЕСС: http://www.sport-express.ru/	84	18	16	0	0	3	1	23
Советский Спорт: http://www.sovsport.ru/	79	8	0	0	0	3	1	34
Чемпионат.com: http://www.championat.com/	41	10	12	0	0	4	0	21
Sports.ru: http://www.sports.ru/	71	16	10	0	0	2	1	32
Образовательные учреждения								
Мурманский ГТУ: http://www.mstu.edu.ru/	15	4	0	0	1	0	1	37
СПбГУ: http://www.spbu.ru/	19	1	0	0	1	2	1	40

Окончание таблицы								
КубГУ: http://www.kubsu.ru/	4	1	0	0	0	1	0	27
КФ ПетрГУ: http://www.arcticsu.ru/	12	4	0	0	1	0	1	11
Корпоративные								
Сбербанк России: http://sberbank.ru/	11	0	0	12	1	0	1	18
РОСНЕФТЬ: http://www.rosneft.ru/	16	0	0	3	4	0	2	73
ОАО НОВАТЭК: http://www.novatek.ru/	3	0	0	2	1	1	1	22
ОАО "Ростелеком": http://www.rostelecom.ru/	3	0	0	4	1	1	1	16

Процентное распределение количества связей по типам в каждой из пяти тематических категорий веб-ресурсов изображено на рис. 1.

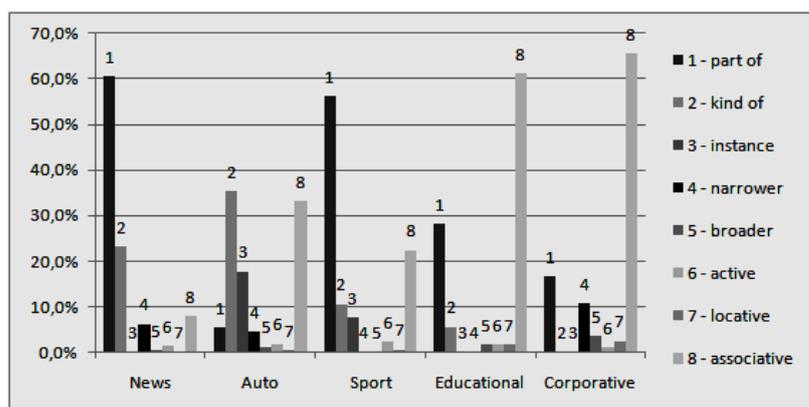


Рис. 1. Диаграмма распределения типов семантических связей в тематических категориях веб-ресурсов

Доля каждой семантической связи в навигационной структуре веб-ресурсов различных тематических категорий представлена на рис. 2.

В результате исследования подтвердилось предположение о том, что в навигационной структуре ресурсов разных категорий имеет место доминирование семантических связей одного-двух типов. Причем для разных категорий веб-ресурсов доминирующие связи различны. Так, для новостных ресурсов доминируют связи типа “is part of” и “is kind of”, для ресурсов автомобильной тематики преобладают “is kind of” и ассоциативные связи, для спортивных ресурсов доминирующими оказались связи “is part of” и ассоциативные. В структуре корпоративных ресурсов и ресурсов образовательных учреждений преобладают ассоциативные связи.

Также можно выделить ограниченный набор понятий, наиболее часто встречающихся на ресурсах одной и той же категории в качестве наименования (суть – семантической метки) раздела.

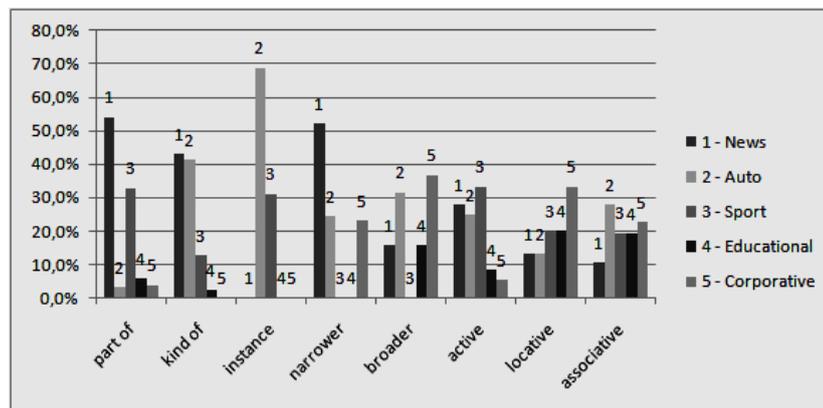


Рис. 2. Доля каждого типа связей в веб-ресурсах исследуемых тематических категорий

Для новостных ресурсов это концепты соответствующие связям “is kind of”, которые обозначают новостные разделы ресурса, например, «политика», «экономика», «технологии» и т.д. На ресурсах автомобильной тематики разделы определяются понятиями соответствующими наименованию производителя автомобилей, например, «BMW», «Ford», «ВАЗ», и т.д. Разделам спортивной тематики соответствуют концепты определяющие виды спорта, такие как «футбол», «хоккей», «баскетбол» и т.д. Ресурсы образовательных учреждений имеют следующие типичные разделы: «Новости», «Информация о ВУЗе», «Абитуриенту», «Сотруднику», «Учебная деятельность», «Факультеты (Структура)», «Наука», «Контактная информация». На корпоративных ресурсах наблюдается существенно меньшее количество типовых разделов: «О компании», «Инвесторам и акционерам», «Пресс-центр», «Работа в компании».

Заключение

Приведенные результаты исследования семантической структуры навигационных интерфейсов веб-ресурсов не претендуют на репрезентативность. Однако полученные экспериментальные данные, по меньшей мере, не опровергают выдвинутое вначале предположение о доминировании некоторых типов семантических связей в рамках навигационных структур интерфейсов веб-ресурсов. Это позволяет ожидать положительной результативности дальнейших работ по созданию технологии генерации навигационных структур веб-ресурсов в наибольшей степени адекватных особенностям восприятия и структуризации информации пользователем.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,
e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru
Maksim G. Shishaev - Dr. of Sci (Tech), Head of laboratory

Коробейников Павел Александрович – аспирант
e-mail: korobeynikov@iimm.kolasc.net.ru
Pavel A. Korobeynikov – Post-graduate

УДК 004.9

А.А. Рыженко, Р.Ш. Хабибулин

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ В СЛУЧАЕ ЧС НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДКАХ

Аннотация

В статье приведена модель и вариант интерфейса распределенной информационной системы общего и индивидуального оповещения на примере стационарных и передвижных объектов открытых промышленных площадок.

Ключевые слова:

модель, информационная система, система оповещения.

A.A. Ryzhenko, R.Sh. Khabibulin

DISTRIBUTED SYSTEM OF INDIVIDUAL NOTIFICATION IN CASE OF EMERGENCY SITUATIONS AT THE LARGE INDUSTRIAL SITES

Abstract

The article presents the model and the version of the interface of distributed information system of general and individual alerts for example, stationary and mobile objects at the large industrial sites.

Key words:

model, the information system, the system alerts.

Введение

В современной экономике крупные промышленные предприятия не могут добиться стабильного успеха, если не будут эффективно планировать свою деятельность. Предприятия, где можно встретить современные средства коммуникаций, стремятся внедрить новые технологии, повысить оперативность управления процессами и обеспечить персонал мобильной связью, заменяя устаревшее телекоммуникационное оборудование.

Применение информационных технологий поможет решить эти проблемы за счет внедрения компьютерной техники и специализированного программного обеспечения. На высшем уровне руководства будут поддерживаться сложные методы принятия решений, а на оперативном и среднем уровнях - собираться и обрабатываться необходимая информация [1]. Например, для более эффективного и полного учета процессов системы поддержки индивидуального и общего оповещения крупного предприятия ставится задача разработки узкоспециализированного программного обеспечения, которое должно частично автоматизировать как процесс учета и контроля эксплуатации самой системы, так и проводить мониторинг текущего состояния всего объекта.

Анализ существующей системы поддержки обслуживания сети оповещения

Организация надежной системы оповещения на крупных производственно распределенных предприятиях – это жизненная необходимость для управления важнейшими производственными процессами, в том числе и для

гарантирования промышленной безопасности. Применение современных средств автоматизации и связи не только значительно повышает безопасность труда, но и способствует оптимизации рабочего процесса, снижению затрат человеческих ресурсов. Возможность оперативно получать информацию о ходе выполнения работ на случай ЧС, а также контролировать работу персонала и техники значительно снижает вероятность производственных ошибок и нарушения технологии производства работ, а также оптимизирует координацию спасательных операций.

До недавнего времени основой сети индивидуального оповещения составляла система на декадных и координатных АТС 60-х годов прошлого века. Для связи рабочих с диспетчерами использовался обычный телефон, что создавало серьезные неудобства. Поэтому эволюция к использованию беспроводных технологий в этой отрасли выглядит вполне логичной. В тоже время использование традиционных систем радиосвязи затруднено из-за особенностей распространения радиоволн на промышленной территории в ограниченных пространствах. Радиосеть является единой для надземной и тем более подземной частей промышленных площадок. Она интегрирована с производственной АТС и обеспечивает двустороннюю голосовую связь между абонентами.

В идеале основным каналом диспетчерской системы на площадках должна являться сеть промышленного Ethernet (Industrial Ethernet) на базе волоконно-оптического кабеля. В этом случае радиосеть служит полноценным резервным каналом, на который в случае нештатной ситуации должны переключаться все пользователи – как «подземные» контроллеры, так и абоненты. Сеть обеспечивает стационарную и мобильную телефонную связь. В качестве мобильных абонентских устройств могут применяться телефоны Wi-Fi, телефоны GSM с Wi-Fi модулями и т. д. Для оснащения телефонной связью транспортных машин применяются стационарные абонентские устройства, дополнительно оснащенные адаптерами сети Wi-Fi (рис. 1).

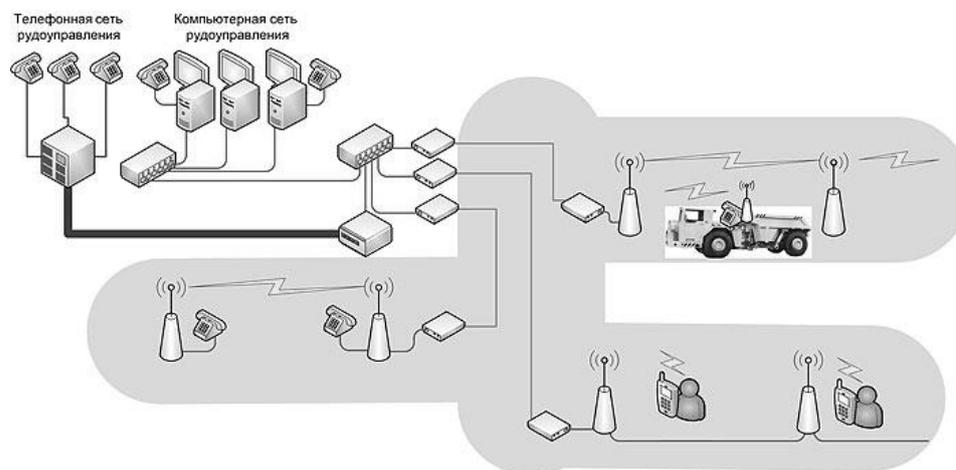


Рис. 1. Типовая структура системы индивидуального оповещения крупной промышленной площадки

Вероятные недостатки существующих технологий обработки данных

При обследовании объектов информатизации многих промышленных площадок предприятий субъектов РФ, выявлена печальная закономерность – информационная структура службы сопровождения сети оповещения практически отсутствует или существует в частном, разрозненном порядке. Отдельно взятые компоненты не снабжены специализированными программными средствами, обеспечивающими полную автоматизацию функций рабочего места специалиста предприятия. В качестве средств автоматизированной обработки информации на рабочих местах специалистов используются ПК, которые недостаточно обеспечены специализированным программным обеспечением, используется общедоступное, унифицированное. Основным недостатком в организации функционирования информационных процессов в компонентах информационной системы является отсутствие локальной вычислительной сети, позволяющей избежать многократного дублирования и «ручного переноса» информации между компонентами исследуемой системы. Этот недостаток в значительной степени влияет на скорость получения конечного результата и, в итоге, на качество функционирования информационной системы. К недостатку также можно отнести отсутствие оперативной информации.

Оценка текущей степени автоматизации поддержки обслуживания сети оповещения

Состав функциональных подсистем для крупных промышленных площадок до сих пор не определен, не имеет четкой структуры, не является типовым и в настоящее время определяется ведущими отечественными корпорациями (фирмами), разрабатывающими комплексные программные продукты, автоматизирующие все функции управления. Так, например, у таких корпораций, как «Галактика», «Парус», «Инфософт», «Интеллект-Сервис» и других фирм уже сложилась своя концепция выделения функциональных подсистем. Она строится на комплексном подходе к проектированию и организации АИС предприятия и на создании интегрированной системы обработки данных (ИСОД).

Интегрированная система, которая в настоящий момент используется на предприятии, предусматривает однократный ввод данных в систему, многократное их использование различными пользователями и применение результатов решения одной экономической задачи как входной информации для других задач. Техническая реализация ИСОД выполняется на базе локальных вычислительных сетей и заложена во многих программных продуктах. На текущий момент информационные отделы предприятий продолжают внедрение специализированной системы связи и оповещения, которая обеспечивает надежную голосовую радиосвязь на поверхности и в подземной части промышленных площадок с выходом абонента в производственно-технологическую сеть связи предприятия, а также передачу данных от систем автоматизированного управления, видеонаблюдения и позиционирования персонала и техники.

В предлагаемой концепции построения системы связи в основу положена универсальная платформа беспроводной связи стандарта DECT во взрывозащищенном исполнении, ранее успешно применяемая как система

беспроводной голосовой связи в шахтах и рудниках. Платформа за последние годы претерпела ряд полезных изменений в связи с бурным развитием технологии VoIP и тенденциями перевода всех систем на единую транспортную основу – пакетную передачу данных.

По единой транспортной системе с кольцевой схемой организации - внутренней сети передачи данных - передаются следующие виды информации:

- голосовая связь через проводные и беспроводные телефоны;
- громкоговорящее оповещение через громкоговорители и беспроводные телефоны;
- предупредительная сигнализация и данные о местоположении через беспроводные телефоны и индивидуальные метки;
- данные телеметрии через беспроводные модули, которые подключены к датчикам, измеряющим концентрацию газа, давление, температуру, скорость воздушного потока.

Голосовая связь обеспечивается с проводных телефонов и с радиотелефонов технологии DECT. Оповещение осуществляется через подсистему громкоговорящей связи и через радиотелефоны технологии DECT в режиме громкой связи.

Предупредительная сигнализация передается на индивидуальные метки и на радиотелефоны технологии DECT и реализуется в виде специальных звуковых и световых сигналов. Данные телеметрии передаются от датчиков с аналоговыми интерфейсами 4-20 мА, измеряющих концентрацию газа, давление, температуру, скорость воздушного потока через беспроводные модули.

Конструктивно системы телефонной связи, аварийного оповещения, местная система оперативной и предупредительной сигнализации на технологических участках, система регистрации – то есть все системы, кроме системы аварийной радиосвязи, объединены в одну конструкцию (рис. 2).

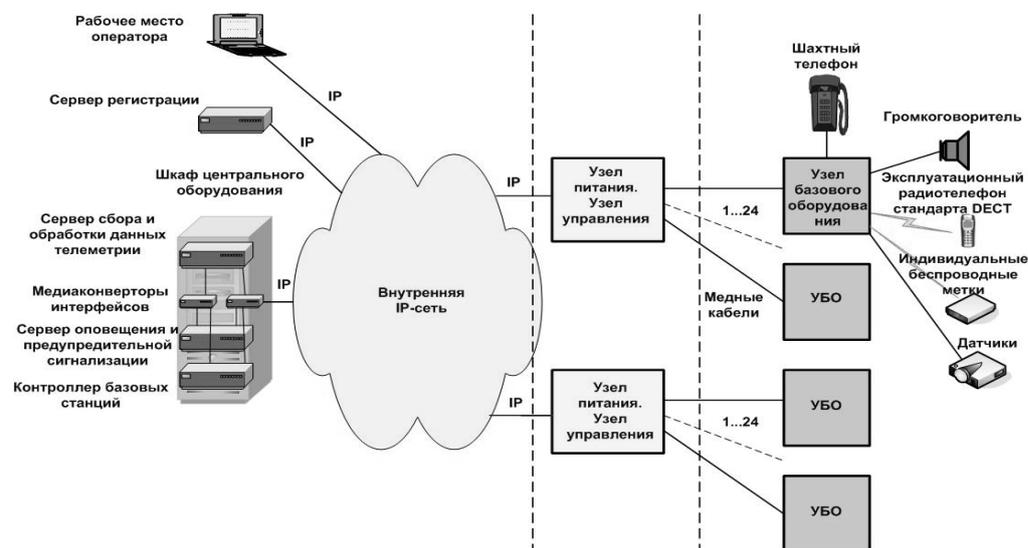


Рис. 2. Типовая структурная схема построения системы оповещения

В отличие, от производственной структуры для промышленности, состав функциональных подсистем службы поддержки сети оповещения персонала организации может иметь другой состав.

Архитектура реализуемого проектного решения

В настоящее время, в связи с разработкой и широким внедрением поддержки качества обслуживания QoS, протокола передачи трафика реального времени (RTP, сRTP) в сетях связи на базе протокола IP, а также протоколов управления мультисервисным (голос/видео/данные) трафиком, таких как, H.323, SIP, MGCP и др., появилась возможность создания интегрированных мультисервисных корпоративных сетей связи предприятия.

Типовые модели процесса управления в проблемных ситуациях для предметной области управления распределенным динамическим объектом сети индивидуального оповещения показаны на рис. 3, 4. Диаграмма кооперации на рис. 3 является моделью передачи сообщений в подсистеме вычислительной сети архитектуры «клиент-сервер». На рис. 4 показаны модели взаимодействия оператора и ИСППР в процессе мониторинга состояний управляемого динамического объекта и обработки тревожных сигналов. В дополнение к диаграмме состояний ИСППР, моделирующей процесс поиска решений, приведен фрагмент диаграммы состояний по обработке сигналов тревоги.

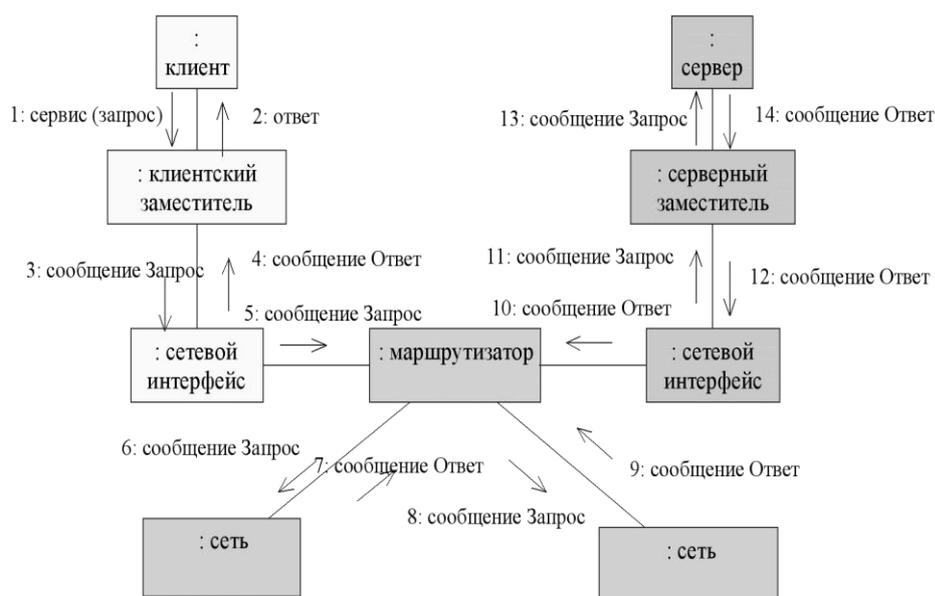


Рис. 3. Диаграмма кооперации элементов вычислительной сети в процессе передачи сообщения

ИТС включает сетевое оборудование – маршрутизаторы и коммутаторы IP с поддержкой качества обслуживания и передачи трафика реального времени, каналообразующее оборудование; ИТС обеспечивает передачу и доведение до пользователя всех мультисервисных услуг.



Рис. 4. Диаграмма кооперации в процессе мониторинга состояния объекта управления телефонной сети

Программная составляющая, примеры интерфейса

В качестве заключения приводится пример интерфейса разрабатываемого приложения. Система представляет распределенное приложение с гибким интерфейсом. Ведется хранение данных на базе сервера MS SQL. Предусмотрено формирование схемы в графическом исполнении, для построения структуры сети оповещения. Режим содержит основные компоненты сети, которые можно расположить поверх графического файла – полотна, с возможностью распечатать результат создания схемы, очистки объектов либо настройки принтера. Внешний вид режима формирования схемы приведен на рис. 5.

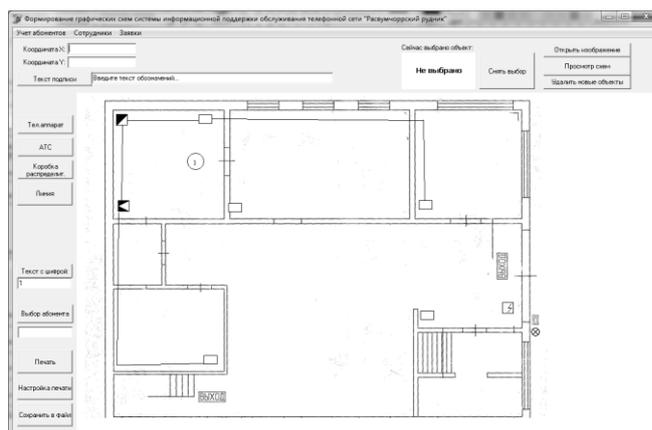


Рис. 5. Пример интерфейса «Режим создания схем телефонной сети»

Общий принцип работы следующий: с помощью кнопки «Открыть изображение» выполняется загрузка файла с графической схемой подсистемы телефонной сети. Занимаемая область выполняет функцию области размещения графических элементов поверх изображения. Нажатием на кнопки в левой части окна выбираются тип элементов телефонной сети, в контейнере в верхней части окна отображается текущий выбранный элемент. Перемещая курсор мыши над графической областью и нажатием левой кнопкой мыши можно поместить указанный объект. Вывести подпись на схему можно с помощью ввода содержимого в текстовое поле и нажатие на кнопку «Обозначение».

Заключение

Любой производственный проект начинается с планирования. Для достижения наибольшего экономического эффекта предприятие должно использовать такие методы производства, которые являются эффективными, как с технологической стороны, так и с экономической точки зрения. Важными факторами также будет эффективное распределение ресурсов, система цен, эффективность и другие.

В статье продемонстрирован процесс осовременивания производственного процесса, за счет автоматизации работы отдела сопровождения сети оповещения типовой промышленной площадки с использованием информационной системы.

В результате работы произведено проектирование автоматизированной системы, разработано информационное обеспечение задачи, представлены общие данные о проектируемой системе, определены информационные объекты, произведена реализация автоматизированной системы, представлены виды связи приложения и БД, формы представления и способы ввода исходных данных, формы представления и способы вывода результатов, показана организация пользовательского интерфейса, а также разработана инструкция пользователю.

Литература

1. Топольский, Н.Г. Модель автоматизированной системы пожарной безопасности промышленного объекта с термозлектронзондированием электрооборудования и линейно-кабельных сооружений / Н.Г. Топольский, В.В. Белозеров, Нгуен Туан Ань // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – Вып. №2 (36). – 6 с.
– Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>

Сведения об авторах

Рыженко Алексей Алексеевич – к.т.н., научный сотрудник,
[e-mail: litloc@rambler.ru](mailto:litloc@rambler.ru)
Alexey A. Ryzhenko – Ph.D. (Tech. Sci.), Senior researcher

Хабибулин Ренат Шамильевич - к.т.н., доцент, заведующий департамента по информационным технологиям,
[e-mail: kh-r@yandex.ru](mailto:kh-r@yandex.ru)
Renat Sh. Khabibulin - Ph.D. (Tech. Sci.), Associate professor, Head of department of IT

УДК 004.94

А.А. Зуенко

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

УСКОРЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА НА ОГРАНИЧЕНИЯХ*

Аннотация

В статье предлагается метод ускорения алгоритмов, применяемых при решении задач удовлетворения ограничений. Многие из упомянутых задач можно свести к поиску выполняющих подстановок некоторого конечного предиката. Метод опирается на ортогонализацию дизъюнктивных нормальных форм конечных предикатов и использует разработанные автором эвристики.

Ключевые слова:

алгебра кортежей, логико-семантический анализ, программирование в ограничениях, задача удовлетворения ограничений.

A.A. Zuenko

ACCELERATED ALGORITHMS OF LOGICAL INFERENCE ON CONSTRAINTS

Abstract

In the paper we propose a method of acceleration algorithms applied to solving constraint satisfaction problems. A lot of these problems could be reduced to finding of satisfying substitutions for a finite predicate. The method is based on the orthogonalization of the disjunctive normal form of finite predicate and uses heuristics developed by the author.

Keywords:

n-tuple algebra, logical-semantic analysis, constraints programming, constraint satisfaction problem.

Введение

В современном программировании можно выделить несколько основных парадигм: императивное или алгоритмическое программирование, логическое программирование, функциональное программирование и др. Важное место в этом ряду занимает программирование в ограничениях (constraint programming) [1].

Программирование в ограничениях как самостоятельное научное направление сложилось в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого века. Примечательно, что первыми приложениями были задачи обработки изображений и параметрического моделирования пространственно-двумерных сцен. С тех пор направление существенно эволюционировало, охватывая новые классы задач, начиная от решения sudoku и ребусов и заканчивая решением

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 11-08-00641, 12-07-00550-а, 12-07-00689-а, 13-07-00318-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16).

систем линейных уравнений и задач искусственного интеллекта, и выдвигая новые подходы к их решению. Например, в [2] рассматриваются задачи маршрутизации перемещений с ограничениями в виде условий предшествования, причем допускаются также ограничения других типов, диктуемые особенностями прикладных задач. В качестве прикладных задач там разбирается задача, связанная со снижением облучаемости при работе в радиационных полях, и задача листовой резки деталей на станках с числовым программным управлением.

Семантически программирование в ограничениях отличается от традиционного логического программирования в первую очередь тем, что исполнение программы рассматривается не как доказательство утверждения, а строится как нахождение значений переменных. При этом система программирования в ограничениях, как правило, стремится сократить перебор с целью минимизации отката в случае неуспеха.

Для ускорения вычислительных процедур могут быть использованы различные методы, в частности эвристические. В данной работе рассмотрен алгоритм ортогонализации, помогающей снизить трудоемкость алгоритмов логического анализа. Был использован математический аппарат – алгебра кортежей (АК), который относится к классу булевых алгебр [3, 4] и позволяет реализовать алгебраический подход к логическому анализу в системах искусственного интеллекта [5, 6, 7, 8].

Постановка задачи программирования в ограничениях

В последние годы наблюдается ренессанс идей логического программирования в ограничениях в таких актуальных научных областях и дисциплинах, как интеллектуальные системы принятия решений, компьютерная графика, экономические модели, системы автоматизированного проектирования, информационные системы, семантический поиск данных, верификация и тестирование программного обеспечения, системы коллективной инженерии.

Задача удовлетворения ограничений (constraint satisfaction problem, CSP) может быть определена множеством переменных X_1, X_2, \dots, X_n и множеством ограничений C_1, C_2, \dots, C_m [1]. Каждая переменная X_i имеет непустую область определения D_i . Каждое ограничение C_i затрагивает некоторое подмножество переменных и задает допустимые комбинации значений для этого подмножества. Решением задачи CSP называется такое присваивание значений всем переменным $\{X_1=v_1, \dots, X_n=v_n\}$, которое удовлетворяет всем ограничениям.

Многие задачи CSP характеризуются тем, что в них используются переменные, которые являются дискретными и имеют конечные области определения. К числу таких задач относится задача раскраски карты (раскраски графа). Также к категории задач с конечными областями относятся булевы задачи CSP, в которых переменные принимают значения либо истина, либо ложь. Булевы задачи включают в качестве частных случаев некоторые NP-полные задачи, такие как 3SAT [1].

Часто CSP решаются с помощью графов ограничений [1]. В настоящей работе рассматривается применение матрицеподобных вычислений в тех задачах программирования ограничений, где переменные дискретны и определены на конечных множествах значений (конечных доменах). По сути,

решение CSP в этом случае сводится к определению множества выполняющих подстановок конъюнктивной нормальной формы (КНФ), но не булевой функции, а конечного предиката. Матрицеподобное представление таких КНФ и специализированные методы ускорения вычислительных процедур [3, 4] позволяют на практике получать требуемые решения за приемлемое время.

В АК конечные предикаты можно сжато представить с помощью двух типов структур: C -систем и D -систем. Они формируются в виде матриц из подмножеств доменов атрибутов, называемых компонентами. В их число входят две фиктивные компоненты: полная компонента (обозначается «*») – это множество, равное домену соответствующего (по месту ее расположения в кортеже) атрибута; пустое множество – \emptyset . В виде D -систем удобно КНФ конечных предикатов, а в виде C -систем – их дизъюнктивные нормальные формы (ДНФ). В АК процесс поиска выполняющих подстановок некоторой КНФ сводится к преобразованию D -систем в C -системы.

Преобразование АК-объектов в альтернативные классы

Алгоритм преобразования D -системы в C -систему является комбинаторным по вычислительной сложности.

Утверждение 1. Каждый C -кортеж (D -кортеж) P преобразуется в эквивалентную ему диагональную D -систему (C -систему).

Алгоритмы преобразования C -кортежей и D -кортежей в альтернативные классы не требуют для своей реализации алгоритмов экспоненциальной сложности. Трудоемкость алгоритмов существенно возрастает при преобразовании в альтернативные классы C -систем и D -систем.

Утверждение 2. D -система P , содержащая m D -кортежей, эквивалентна C -системе, которая равна пересечению m C -систем, полученных с помощью преобразования каждого D -кортежа из P в C -систему.

Важность данного утверждения с теоретической точки зрения состоит в том, что она определяет существенную в ряде доказательств и обоснований возможность представить любую структуру АК в виде C -кортежа или C -системы.

Утверждение 3. C -система P , содержащая m C -кортежей, эквивалентна D -системе, которая равна объединению m D -систем, полученных с помощью преобразования каждого C -кортежа из P в D -систему.

$$\text{Рассмотрим преобразование } D\text{-системы } P = \begin{bmatrix} \{a, c\} & \{d\} & \{b, d\} \\ \emptyset & \{a, d\} & \{a, c\} \\ \{b, c\} & \emptyset & \{b\} \end{bmatrix}$$

в C -систему. Преобразуя каждый D -кортеж в C -систему, получим промежуточный результат:

$$P = \begin{bmatrix} \{a, c\} & * & * \\ * & \{d\} & * \\ * & * & \{b, d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a, d\} & * \\ * & * & \{a, c\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b, c\} & * & * \\ * & * & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Вычислим пересечение первых двух C -систем (получающиеся при этом пустые C -кортежи, которые затем удаляются из C -системы, здесь и далее для экономии места не показаны):

$$\begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ * & \{d\} & * \\ * & * & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a,d\} & * \\ * & * & \{a,c\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{a,c\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & * & \{a,c\} \\ * & \{d\} & * \\ * & \{d\} & \{a,c\} \\ * & \{a,d\} & \{b,d\} \end{bmatrix}.$$

Теперь найдем пересечение полученной C -системы с оставшейся:

$$P = \begin{bmatrix} \{a,c\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & * & \{a,c\} \\ * & \{d\} & * \\ * & \{d\} & \{a,c\} \\ * & \{a,d\} & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b,c\} & * & * \\ * & * & \{b\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{c\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & \{a,d\} & \{b\} \\ \{c\} & * & \{a,c\} \\ \{b,c\} & \{d\} & * \\ * & \{d\} & \{b\} \\ \{b,c\} & \{d\} & \{a,c\} \\ \{b,c\} & \{a,d\} & \{b,d\} \\ * & \{a,d\} & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Алгоритм преобразования D -систем в C -системы требует для своего выполнения больших вычислительных ресурсов, так как в общем случае является алгоритмом экспоненциальной сложности. Для систем большой размерности он может оказаться практически нереализуемым. Поэтому его целесообразно использовать по возможности реже, в АК разработаны методы и приемы, позволяющие значительно уменьшить требуемые вычислительные ресурсы для его выполнения. Остановимся на них подробнее, одним из таких методов является ортогонализация.

Ортогонализация

При анализе определенных C -систем можно увидеть, что некоторые пары содержащихся в них C -кортежей имеют непустое пересечение. Иногда это сильно усложняет расчеты. Например, возможны ситуации, когда требуется вычислить общее число элементарных кортежей, содержащихся в таких C -системах – приходится учитывать все возможные пересечения пар, троек и так далее C -кортежей. Те же трудности возникают, если исследуются метрические свойства АК-объектов, например, их вероятностное представление. Ортогонализация как раз и предназначена для преодоления этих трудностей.

Кроме того, ортогонализация дает эффективные средства уменьшения трудоемкости алгоритмов преобразования АК-объектов в альтернативные классы, и, в частности, D -систем в C -системы.

Рассмотрим основные соотношения ортогонализации, используемые в математической логике.

ДНФ называется *ортогональной*, если любая пара ее конъюнктов не имеет общих выполняющих подстановок. *Ортогонализация* есть преобразование, переводящее произвольную формулу в эквивалентную ей ортогональную ДНФ.

В основе существующих методов ортогонализации лежит следующее соотношение, полученное П.С.Порецким для формул исчисления высказываний:

Дизъюнкция $H_1 \vee H_2 \vee \dots \vee H_k$ эквивалентна ортогональной ДНФ вида $(H_1) \vee (\overline{H_1} \wedge H_2) \vee \dots \vee (\overline{H_1} \wedge \overline{H_2} \wedge \dots \wedge \overline{H_{k-1}} \wedge H_k)$.

C-система называется *ортогональной*, если пересечение любой пары содержащихся в ней различных *C*-кортежей равно пустому *C*-кортежу.

Утверждение 4. *D*-кортеж вида $]Q_1 Q_2 \dots Q_{m-1} Q_m[$, где Q_i – произвольные компоненты, преобразуется в эквивалентную ему ортогональную *C*-систему:

$$\left[\begin{array}{ccccc} \overline{Q_1} & * & \dots & * & * \\ \overline{Q_1} & Q_2 & \dots & * & * \\ & & \dots & & \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \dots & Q_{m-1} & * \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \dots & \overline{Q_{m-1}} & Q_m \end{array} \right].$$

Трудоёмкость операции преобразования *D*-системы в *C*-систему можно снизить, преобразуя *D*-кортежи исходной системы в ортогональные *C*-системы.

Рассмотрим пример. Пусть в схеме отношений $[XYZ]$, где $X = Y = Z = \{a,b,c,d\}$, задан *D*-кортеж $] \{a,c\} \{d\} \{b,d\} [$. Тогда при преобразовании его в ортогональную *C*-систему получим следующие равенства:

$$] \{a,c\} \{d\} \{b,d\} [= \left[\begin{array}{ccc} \{a,c\} & * & * \\ * & \{d\} & * \\ * & * & \{b,d\} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a,b,c\} & \{b,d\} \end{array} \right],$$

причем вторая *C*-система ортогональна.

Утверждение 5. Ортогонализация произвольных АК-объектов сводится к ортогонализации эквивалентных им *D*-систем (преобразованию *D*-систем в ортогональные *C*-системы). Для этого требуется:

- 1) выразить исходный АК-объект как *D*-систему;
- 2) представить *D*-систему как пересечение *D*-кортежей;
- 3) каждый *D*-кортеж преобразовать в ортогональную *C*-систему;
- 4) выполнить пересечение промежуточных ортогональных *C*-систем.

Утверждение 6. Если *P* и *Q* – ортогональные *C*-системы, то пресечение этих *C*-систем, либо пусто, либо состоит из одного *C*-кортежа, либо представляет собой ортогональную *C*-систему.

Рассмотрим пример ортогонализации для D -системы:

$$P = \begin{bmatrix} \{a,c\} & \{d\} & \{b,d\} \\ \emptyset & \{a,d\} & \{a,c\} \\ \{b,c\} & \emptyset & \{b\} \end{bmatrix}.$$

При преобразовании D -кортежей в эквивалентные им ортогональные C -системы получим:

$$P = \begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a,b,c\} & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a,d\} & * \\ * & \{b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b,c\} & * & * \\ \{a,d\} & * & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Вычислим промежуточные результаты (пустые C -кортежи не показаны):

$$\begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a,b,c\} & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a,d\} & * \\ * & \{b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{a,c\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & \{b,c\} & \{a,c\} \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a\} & \{b,d\} \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} \{a,c\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & \{b,c\} & \{a,c\} \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a\} & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b,c\} & * & * \\ \{a,d\} & * & \{b\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{c\} & \{a,d\} & * \\ \{a\} & \{a,d\} & \{b\} \\ \{c\} & \{b,c\} & \{a,c\} \\ \{b\} & \{d\} & * \\ \{d\} & \{d\} & \{b\} \\ \{b\} & \{a\} & \{b,d\} \\ \{d\} & \{a\} & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Получен результат, который по размерности незначительно улучшает результат, вычисленный без ортогонализации – матрица C -системы сократилась лишь на одну строчку. Далее будут рассмотрены некоторые другие методы сокращения размерности и трудоемкости вычислений при выполнении этой операции.

Эвристический алгоритм ортогонализации

Прежде чем приступить к изложению предложенного метода, рассмотрим одно важное соотношение, позволяющее во многих случаях существенно сократить перебор при преобразовании АК-объектов в альтернативные классы. Дело в том, что D -кортеж, содержащий не менее двух непустых компонент, можно представить как ортогональную C -систему единственным способом. Допустим, даны равенства:

$$]A B C[= \begin{bmatrix} A & * & * \\ * & B & * \\ * & * & C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & * & * \\ \bar{A} & B & * \\ \bar{A} & \bar{B} & C \end{bmatrix}.$$

Если в промежуточном АК-объекте переставить местами C -кортежи, то эквивалентность не нарушится, но при ортогонализации после перестановки будет получено другое изображение того же D -кортежа. В итоге для D -кортежа $]A B C[$ формируется совокупность следующих равенств:

$$]A B C[= \begin{bmatrix} A & * & * \\ * & B & * \\ * & * & C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & B & * \\ * & * & C \\ A & * & * \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & B & * \\ * & \bar{B} & C \\ A & \bar{B} & \bar{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & * & C \\ A & * & * \\ * & B & * \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & * & C \\ A & * & \bar{C} \\ \bar{A} & B & \bar{C} \end{bmatrix}.$$

Таким образом, если задан D -кортеж, в котором содержится k непустых компонент, то алгоритм, описывающий получение из этого D -кортежа всех возможных эквивалентных ему ортогональных C -систем, состоит из трех шагов:

- 1) перевести D -кортеж в C -систему P с k C -кортежами;
- 2) выбрать произвольную перестановку C -кортежей в P (число таких перестановок равно k) и записать P в порядке, соответствующем этой перестановке;
- 3) для каждой неполной компоненты P_{ij} (i – номер строки, j – номер столбца) преобразованной C -системы P заменить все фиктивные компоненты P_{mi} ($m > i$), находящиеся ниже P_{ij} , ее дополнениями \bar{P}_{ij} .

Если целенаправленно использовать эти варианты преобразования, то можно существенно уменьшить как размерность вычисляемой C -системы путем сокращения числа входящих в нее C -кортежей, так и трудоемкость вычислений за счет того, что в промежуточных вычислениях образуется значительно больше пустых C -кортежей, которые не участвуют в последующих вычислениях. Этот прием особенно эффективен при преобразовании D -систем в C -системы в рамках исчисления высказываний, но и для более широкого класса АК-объектов он также позволяет иногда получить существенное уменьшение трудоемкости. Для иллюстрации повторим ранее выполненное преобразование D -системы P в C -систему, но при этом D -кортежи преобразуем в ортогональные C -системы иначе:

$$1. \text{ В } D\text{-системе } P[X_1X_2X_3] = \begin{bmatrix} \{a,c\} & \{d\} & \{b,d\} \\ \emptyset & \{a,d\} & \{a,c\} \\ \{b,c\} & \emptyset & \{b\} \end{bmatrix} \text{ проведем сорти-}$$

ровку ее столбцов и строк так, чтобы сгруппировать непустые компоненты в

верхнем левом “миноре” логической матрицы кортежи с ненулевыми компонентами. Для этого переставим строки 1 и 3 местами.

$$2. \text{ Получим } P[X_3X_2X_1] = \begin{bmatrix} \{b,d\} & \{d\} & \{a,c\} \\ \{a,c\} & \{a,d\} & \emptyset \\ \{b\} & \emptyset & \{b,c\} \end{bmatrix}.$$

3. Преобразуем D -кортежи в эквивалентные им ортогональные C -системы. Получаем:

$$P[X_3X_2X_1] = \begin{bmatrix} \{b,d\} & * & * \\ \{a,c\} & \{d\} & * \\ \{a,c\} & \{a,b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{a,d\} & * \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b\} & * & * \\ \{a,d,c\} & * & \{b,c\} \end{bmatrix}.$$

4. Вычислим пересечение первых двух C -систем (получающиеся при этом пустые C -кортежи, которые затем удаляются из C -системы, здесь не показаны):

$$\begin{bmatrix} \{b,d\} & * & * \\ \{a,c\} & \{d\} & * \\ \{a,c\} & \{a,b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{a,d\} & * \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{b,d\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & \{d\} & * \\ \{a,c\} & \{a,b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix}$$

Теперь найдем пересечение полученной C -системы с оставшейся:

$$\begin{bmatrix} \{b,d\} & \{a,d\} & * \\ \{a,c\} & \{d\} & * \\ \{a,c\} & \{a,b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} \{b\} & * & * \\ \{a,d,c\} & * & \{b,c\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{b\} & \{a,d\} & * \\ \{d\} & \{a,d\} & \{b,c\} \\ \{a,c\} & \{d\} & \{b,c\} \\ \{a,c\} & \{a,b,c\} & \{c\} \end{bmatrix}.$$

Нетрудно убедиться, что итоговая C -система, содержащая четыре C -кортежа, ортогональна, а по составу элементарных кортежей эквивалентна ранее полученной C -системе, содержащей семь C -кортежей. Из примера видно, что суть метода сводится к тому, чтобы максимально увеличить число пустых кортежей, образуемых на первых и промежуточных этапах вычисления, путем соответствующего выбора вариантов ортогонализации D -кортежей в исходной D -системе – за счет этого существенно уменьшается число вариантов, подлежащих дальнейшей обработке.

Заключение

В статье предлагается один из методов “вычислительной логики”, направленный на снижение остроты проблемы “экспоненциальной катастрофы” при решении задач удовлетворения ограничений. Особенно продуктивным оказывается постановка и решение практических задач в виде задач удовлетворения ограничений в слабо формализованных предметных областях,

где требуется не только количественный, но и качественный анализ информации. В подобных системах логические модели, описывающие еще до конца не изученные аспекты функционирования системы, органично дополняют аналитические закономерности, уже устоявшиеся для полностью изученных фрагментов системы. Применение представленного метода в таких системах позволяет на практике выполнять теоретически сложные алгоритмы логического анализа за приемлемое время.

Литература

1. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. / С. Рассел, П. Норвиг // пер. с англ.; ред. К.А. Птицына. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. -1408 с.
2. Ченцов, А.Г. Экстремальные задачи маршрутизации: теория и приложения /А.Г. Ченцов // Шестая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления, г. Геленджик, с. Дивноморское, 30 сентября – 5 октября 2013 г.: материалы мультиконференции: в 4 т. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. -Т.3. – С.213-220.
3. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 235 с.
4. Зуенко, А.А. Матрицеподобные вычисления в задачах удовлетворения ограничений /А.А. Зуенко // Шестая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления, г. Геленджик, с. Дивноморское, 30 сентября – 5 октября 2013 г.: материалы мультиконференции: в 4 т. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. -Т.1. – С.30-34
5. Зуенко, А.А. Реализация комбинированных методов логико-семантического анализа с использованием алгебры кортежей / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, г. Белгород, 16-20 октября 2012г.: труды конференции. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. -Т.2. - С.67-75.
6. Зуенко, А.А. Булевы алгебры как средство интеллектуального анализа систем рассуждений / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман, Б.А. Кулик // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2012: сборник трудов XII Международной научной конф. имени Т.А. Таран, г. Киев, 16-18 мая 2012 г.: / гл. ред. С.В. Сирота. - К.: Просвіта, 2012. – С.70-78.
7. Boris Kulik, Alexander Fridman, Alexander Zuenko. N-tuple Algebra: Providing Clarity by Combining Logical Inference with Defeasible Reasoning // Cybernetics and Systems 2012: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2012), 10-13 April, 2012, Vienna, Austria. - P.315-318.
8. Kulik, B. Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method /B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Cybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010) Vienna, Austria, 2010. – P.198-203.

Сведения об авторе

Зуенко Александр Анатольевич - к.т.н, научный сотрудник,
e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru
Alexander A. Zouenko - Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

УДК 004.94

А.А. Зуенко^{1,2}, А.А. Алмаатов¹

¹ ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

² Кольский филиал ПетрГУ

ПОИСКОВЫЕ ЗАПРОСЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ С ЛОГИЧЕСКИМИ ВЕКТОРАМИ*

Аннотация

Предлагается оригинальный алгоритм поиска в естественно-языковых текстах, основанный на алгебраическом представлении исходного текста и поисковых операций. Для гибкого задания различных условий поиска применяются поисковые шаблоны, которые транслируются в совокупность алгебраических операций над логическими векторами.

Ключевые слова:

поисковый запрос, логические векторы, регулярные выражения.

A.A. Zuenko, A.A. Almatov

RETRIEVAL REQUESTS USING OPERATIONS ON BOOLEAN VECTORS

Abstract

An original algorithm for searching in natural language texts based on the algebraic representation of the source text and search operations is proposed. The algorithm uses search patterns for flexible setting various search conditions. The patterns are translated into a sets of algebraic operations on boolean vectors.

Key words:

retrieval request, boolean vectors, regular expressions.

Введение

В настоящее время существует множество алгоритмов поиска подстроки в строке: Бойера-Мура, Чжу – Такаоки, Бойера – Мура – Хорспула, Кнута – Морриса – Пратта, Рабина – Карпа и т.д.

Кроме задачи отыскания точного вхождения подстроки в строку, очень широко распространена задача поиска, где некоторые символы или последовательности символов могут быть заданы не точно, а в виде интервалов символов, некоторых классов символов, условных выражений и т.д. Для стандартизации таких запросов в различных приложениях используются общепринятые стандарты регулярных выражений.

В документальных информационных системах применяется два наиболее распространенных языка регулярных выражений для поисковых запросов:

- POSIX – (Portable Operating System Interface for Unix – переносимый интерфейс операционных систем Unix;

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 11-08-00641, 12-07-00550-а, 12-07-00689-а, 13-07-00318-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16).

- PCRE – Perl Compatible Regular Expressions – регулярные выражения, совместимые с языком Perl.

Простота и скорость выполнения запросов, использующих регулярные выражения, зависит от эффективности методов и алгоритмов, реализующих эти запросы, от того насколько исполнение запросов при выбранном подходе поддается распараллеливанию.

В настоящей работе описана модификация базового алгоритма полно-текстового поиска в естественно-языковых текстах, подробно рассмотренного в [1, 2]. Модификация основана на алгебраическом представлении исходного текста и поисковых операций, обеспечивает возможность гибкого задания различных условий поиска с использованием стандарта POSIX. Поисковые шаблоны транслируются в совокупность алгебраических операций над логическими векторами. В виде набора таких векторов представляется и сам исходный текст. При этом существенно повышается быстродействие системы в отличие от известных алгоритмов поиска слов, основанных на последовательном сравнении фрагментов текста с поисковым образом, за счет возможности эффективно распараллеливать процедуры поиска вплоть до отдельного символа запроса.

Далее рассмотрим возможности используемого языка запросов и особенности реализации тех или иных языковых конструкций с помощью операций над логическими векторами.

Формирование поисковых шаблонов

Запрос формируется в виде строки текста, содержащей в себе последовательность символов, классов символов, заданных вариантов, wildcard и т.д.

Таблица 1

Классы символов

Обозначение	Описание
\d	любая цифра
\D	все, кроме цифры
\c	любая буква
\C	все, кроме букв
\w	буква или цифра
\W	все, кроме букв и цифр
\l	буквы в нижнем регистре
\h	буквы в верхнем регистре
\s	пробельные символы (пробел, табуляция, возврат каретки, новая строка)
\S	все, кроме пробельных символов
\p	символы пунктуации («.», «,», «!», «>», «<», «>>»)
\P	все, кроме пунктуации
\r	символ, являющийся повторением предыдущего. Может использоваться как форма записи повторений символов, а также в сложных «ИЛИ» или «И» выражениях

При необходимости возможно задание некоторого множества символов/классов, а также поиска всего, кроме заданных символов. Для этого нужно множество заданных символов вписать в квадратные скобки. Если необходимо искать все, кроме заданных символов, нужно после открывающейся скобки поставить символ «^».

Таблица 2

Многовариантный поиск (ИЛИ-выражение)

Пример	Трактовка
[abcd]	поиск символов «a», «b», «c» или «d»
[^abcd]	все, кроме «a», «b», «c» или «d»
[abcdefgh\d]	шестнадцатеричные цифры
[^\s\p]	все, кроме пробельных символов и пунктуации

Также возможно задание выражения «ИЛИ» вместо некоторого символа в запросе. По принципу работы оно эквивалентно предыдущей функции с той лишь разницей, что между всем, заданным внутри функции, выполняется функция «И». Отрицание выражения с помощью «^» также возможно.

Таблица 3

Уточняющий поиск (И-выражение)

Пример	Трактовка
<d\ r>	повторяющаяся цифра
<lq>	символ «q» низкого регистра
<abc>	некорректная запись, т.к. один конкретный символ не может быть равен сразу «a», «b» и «c»
<^\ h\ r>	все, кроме повторяющихся символов верхнего регистра

Синтаксис запроса позволяет писать после некоторого искомого символа некоторое количество раз, которое он будет повторяться.

Таблица 4

Повторяющиеся символы

Запись	Эквивалентная запись	Трактовка
a{3}	aaa	Три последовательных символа «a»
\d{5}	\d\d\d\d\d	Пять последовательных цифр
b{1}	b	Один символ «b»

Теперь перейдем к описанию базового алгоритма поиска на основе операций с логическими векторами.

Базовый алгоритм поиска подстроки на основе операций с логическими векторами

Пусть используемый алфавит состоит из N литер. Позиции в тексте отдельной литеры могут быть заданы характеристическим вектором, размерность которого равна длине самого текста L . Каждый элемент характеристического вектора принимает значение 1 или 0 в зависимости от того, присутствует или нет данная литера в тексте в данной позиции. Текст представлен в памяти машины в виде N логических векторов длиной L .

Чтобы найти в этой структуре искомое слово, необходимо пронумеровать последовательностью 0, 1, 2, ... литеры искомого слова; выбрать логические векторы, соответствующие этим литерам, и выполнить для каждого из этих векторов сдвиг влево на число разрядов, соответственно нумерации; выполнить логическое умножение выбранных и преобразованных логических векторов; если в результате получится нулевой вектор, то это означает, что искомого слова в данном тексте нет. В противном случае единицы этого характеристического вектора маркируют номера позиций, в которых находится начало искомого слова. Рассмотрим пример.

Пример 1. Пусть задан текст "род рада город". Необходимо найти в нем все вхождения буквосочетания "род". Для простоты будем использовать только литеры, входящие в данный текст, включая пробел. Тогда сам текст будет представлен следующей совокупностью логических векторов:

V[a] : 00000101000000

V[r]: 00000000010000

V[d]: 00100010000001

V[o]: 01000000001010

V[p]: 10001000000100

V[" "]: 00010000100000

Запись V[s] обозначает булев вектор, соответствующий символу s. Для простоты далее будем использовать следующую сокращенную запись:

a: 00000101000000

r: 00000000010000

d: 00100010000001

o: 01000000001010

p: 10001000000100

пробел: 00010000100000

Начнем процедуру поиска слова "род". Первый логический вектор для литеры "р" оставим без изменений. Второй логический вектор для литеры "о" сдвинем на один разряд влево, а логический вектор для литеры "д" сдвинем на два разряда влево. Результат будет определяться произведением этих векторов. Каждый вектор отыскивается по значению символа s и номеру позиции этого символа в запросе по формуле:

$$V'[s] = \text{SHL}(V[s], i),$$

где i – номер позиции символа, SHL – функция побитового сдвига вектора влево на заданное количество позиций.

В итоге получим следующие логические векторы:

SHL(V[p],0): 10001000000100

SHL(V[o],1):10000000010100

$\text{SHL}(V[d],2):10001000000100$

Логическое умножение этих векторов дает вектор: 10000000000100, в котором единицы указывают позиции, где находится начало искомого слова. Вычислительная сложность этого алгоритма при соответствующей аппаратной реализации линейно зависит от длины искомого слова и не зависит от длины текста.

Ниже покажем, как реализуются типовые языковые конструкции стандарта POSIX с помощью операций над булевыми векторами.

Реализация запросов, содержащих регулярные выражения, с использованием механизма биассоциативного поиска

Стоит отметить, что важным преимуществом битовой карты является то, что вектор может отвечать не только определенному символу, но и группе символов. Пусть задан текст: CFD41B919DE93ECE51.

Можно сопоставить тексту несколько векторов, обозначающих, к примеру, принадлежность символов этого текста к классу букв или цифр.

Цифры: 000110111001100011

Буквы: 111001000110011100

В таком случае становится возможным делать запросы, направленные на поиск не конкретных символов, а на поиск групп (классов, множеств) символов на основе поисковых шаблонов.

Пример 2. Пусть дан текст: abcdabccabd. Тогда карта будет выглядеть:

a: 100001000100

b: 010010100010

c: 001000011000

d: 000100000001

Необходимо найти последовательность символов «abcd» или «abcc»(обе имеются в тексте). Тогда можно задать вектор последнего символа как результат выполнения операции OR между векторами символов «c» и «d»:

d:000100000001

c:001000011000

c_or_d:001100011001

Процесс поиска можно представить как:

$\text{SHL}(V[a],0) \text{ AND } \text{SHL}(V[b],1) \text{ AND } \text{SHL}(V[c],2) \text{ AND } \text{SHL}(V[c_or_d],3)$,

где

$\text{SHL}(V[a],0): 100001000100$

$\text{SHL}(V[b],1): 100101000100$

$\text{SHL}(V[c],2): 100001100000$

$\text{SHL}(V[c_or_d],3): 100011001000$

Результат поиска: 100001000000

Теперь рассмотрим многовариантный поиск, задаваемый через отрицание. Отрицание также может быть использовано в поиске текста, например, когда необходимо в качестве символа разрешить все, кроме символа/нескольких символов.

Пример 3. Предположим, что в тексте: abcdabccabd, необходимо найти все последовательности abc, после которых идет не-d. В таком случае класс символов «не-d» будет задаваться через отрицание d:

d: 000100000001

not-d: 111011111110

Процесс поиска можно представить как:

$\text{SHL}(V[a],0) \text{ AND } \text{SHL}(V[b],1) \text{ AND } \text{SHL}(V[c],2) \text{ AND } \text{SHL}(V[\text{not_d}],3)$,

где

$\text{SHL}(V[a],0)$: 100001000100

$\text{SHL}(V[b],1)$: 100101000100

$\text{SHL}(V[c],2)$: 100001100000

$\text{SHL}(V[\text{not_d}],3)$: 011111110000

Результат поиска: 000001000000.

Заключение

Таким образом, была рассмотрена модификация метода биасоциативного поиска текста на случай, когда для задания запросов могут быть использованы регулярные выражения. Алгоритм поиска может быть также применен за пределами задачи поиска текста. Вместо текста может быть всё, что представимо в виде последовательности битов. Например, в качестве последовательности может использоваться набор последовательно поступающих во времени векторов значений входных воздействий некоторой системы, а также выходных значений и внутренних состояний.

Более того, алгоритм может использоваться не только при обработке одномерных данных. Возможна работа с данными любой размерности. При заранее известных ограничениях на размерность массива данных по каждому измерению можно будет свести операции сдвигов по любому из них к битовым сдвигам в одномерном массиве данных. К примеру, это может быть использовано в анализе и обработке растровых изображений и воксельных моделей. Алгоритм апробирован на задаче удаления служебных тегов из HTML-документов.

Литература

1. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 235 с.
2. Кулик, Б.А. Система поиска слов в произвольном тексте / Б.А. Кулик // Программирование. -1987.- № 1. -С.49-50.

Сведения об авторах

Зуенко Александр Анатольевич - к.т.н, научный сотрудник,

e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru

Alexander A. Zouenko - Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

Алмаматов Александр Анатольевич – стажер-исследователь,

Alexander A. Almamatov – Probationer-researcher

УДК 004.94

А.А. Зуенко

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ МАТРИЧНЫХ И МЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АК-ОБЪЕКТОВ*

Аннотация

В статье рассматривается разработанный автором модуль расчета надежности структурно сложных систем. Методы логико-вероятностного анализа программно реализованы с применением структур алгебры кортежей. Модуль может быть использован как самостоятельное приложение, а также выполнять роль сервера при распределенных вычислениях.

Ключевые слова:

алгебра кортежей, логико-вероятностный анализ, СОМ-интерфейсы.

A.A. Zuenko

PROGRAM IMPLEMENTATION OF LOGICAL AND PROBABILISTIC ANALYSIS BASED ON MATRIX AND METRIC PROPERTIES OF THE NTA-OBJECTS

Abstract

In the article implementation of a program module developed for logic and probabilistic analysis is considered. Methods of logic and probabilistic analysis are programmed using n-tuple algebra's structures. The module could be used as a standalone application, or act as a server for distributed computing.

Key words:

n-tuple algebra, logic and probabilistic analysis, COM interfaces.

Введение

Современные методы логико-вероятностного анализа (ЛВА) созданы с ориентацией на работу с системами, узлы которых могут находиться лишь в двух состояниях [1, 2, 3]. И, хотя существуют отдельные работы, где предлагаются методы расчета надежности систем со многими состояниями, унифицированного подхода к решению обозначенной проблемы до сих пор не существовало.

В алгебре кортежей (АК), основы которой подробно изложены в [4, 5, 6], разработаны методы расчёта надёжности структурно сложных систем с множеством состояний, представленным в виде [7]:

- пары элементов («работоспособен»/ «неработоспособен»);
- конечного множества элементов;

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 11-08-00641, 12-07-00550-а, 12-07-00689-а, 13-07-00318-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16).

- набора пересекающихся интервалов.

Данная работа посвящена рассмотрению программной реализации алгоритмов логико-вероятностного анализа таких систем с использованием методов АК [8, 9]. Эти методы базируются на представленных ниже теоремах о метрических свойствах АК-объектов.

Теорема 1. Мера некоторой компоненты C -кортежа равна сумме мер значений, формирующих эти компоненты.

Например, пусть в пространстве $X_1 \times X_2$, где $X_1 = \{a, b, c, d\}$, $X_2 = \{1, 2, 3, 4\}$, задан C -кортеж $C_1 = [\{a, b, c\}\{1, 2, 3\}]$. Обозначим первую компоненту этого C -кортежа как x_1 , а вторую – x_2 . Тогда $\mu(x_1) = \mu(a) + \mu(b) + \mu(c)$, а $\mu(x_2) = \mu(1) + \mu(2) + \mu(3)$.

Теорема 2. Если каждая компонента C -кортежа имеет конечную меру, то мерой C -кортежа является произведение мер его компонент.

Пользуясь результатами предыдущего примера вычислим меру $\mu(C_1)$:
 $\mu(C_1) = \mu(x_1) * \mu(x_2)$.

Из представленных теорем непосредственно следует.

Теорема 3. Мера ортогональной C -системы равна сумме мер содержащихся в ней C -кортежей.

Из теоремы 3 вытекает, что мера произвольной D -системы может быть вычислена, если преобразовать ее дискретное представление в ортогональную C -систему. Для произвольной C -системы, используя соотношения АК, можно разработать алгоритм преобразования такой C -системы в ортогональную. Но во многих случаях проще вычислить дополнение этой C -системы, преобразовать полученную D -систему в ортогональную C -систему и вычислить меру исходной C -системы, используя соотношение:

$$\mu(C) = \mu(U) - \mu(\bar{C}),$$

где $\mu(C)$ – мера исходной C -системы, $\mu(U)$ – мера универсума,

$\mu(\bar{C})$ – мера АК-объекта, дополнительного к исходному.

Мера универсума для множества атрибутов $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ вычисляется как произведение $\mu(X_1) * \mu(X_2) * \dots * \mu(X_n)$.

Отметим следующие очевидные свойства АК-объектов, погруженных в вероятностное пространство или в любое другое нормированное пространство, в котором мера каждого атрибута равна 1:

- 1) мера полной компоненты в C -кортежах и C -системах равна 1;
- 2) мера любого частного универсума равна 1;
- 3) мера любого АК-объекта есть число в интервале $[0, 1]$;
- 4) мера пустого АК-объекта равна 0;
- 5) для АК-объекта A мера его дополнения равна $1 - \mu(A)$;
- 6) для пары (A, B) АК-объектов $\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A \cap B)$;
- 7) в любом АК-объекте после элементаризации мера каждой компоненты равна сумме мер соответствующих квантов, содержащихся в этой компоненте [4].

Далее рассматриваются особенности программной реализации алгоритмов логико-вероятностного анализа в АК.

Программная реализация разработанных алгоритмов

Алгоритм расчета вероятностной меры для компоненты S -системы.

Блок-схема данного алгоритма приведена на рис. 1.

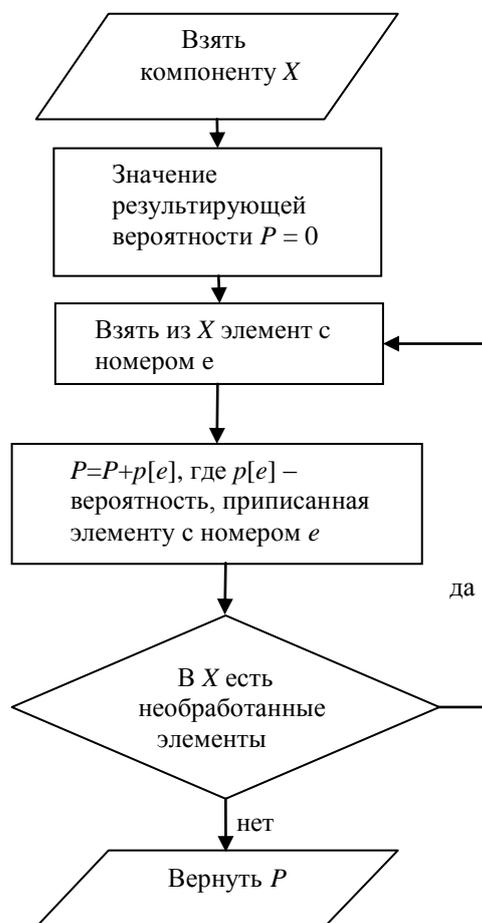


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета вероятностной меры компоненты S -системы

Пример 1. Пусть есть некоторый домен $D = \{1,2,3,4,5,6\}$ и для его элементов определено вероятностное распределение.

Таблица 1

Вероятностное распределение для значений домена D

Элемент	a	b	c	d	e	f
Вероятность	0.1	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2

Необходимо посчитать вероятность для компонент следующего S -кортежа $S_1 = [\{a,b,c\} \{a,c,e\} \{a,b,c,d,e,f\}]$. Первую компоненту обозначим $x_1 = \{a,b,c\}$, вторую - $x_2 = \{a,c,e\}$, третью $x_3 = \{a,b,c,d,e,f\}$, соответственно.

Тогда: $P(x_1) = p[1] + p[2] + p[3] = 0.1 + 0.1 + 0.15 = 0.35$;

$P(x_2) = p[1] + p[3] + p[5] = 0.1 + 0.15 + 0.2 = 0.45$;

$$P(x_3) = p[1] + p[2] + p[3] + p[4] + p[5] + p[6] = 0.1 + 0.1 + 0.15 + 0.15 + 0.2 + 0.2 = 1.$$

Рассмотрим по шагам обработку элемента x_2 .

Элементы, содержащиеся в x_2 , могут быть представлены в виде битового вектора $b = (1, 0, 1, 0, 1, 0)$. Элементами, содержащимися в компоненте, считаются те элементы, для которых соответствующий бит установлен в единицу. В процессе перебора идёт просмотр всех значений битового вектора с обработкой тех, для которых установлен необходимый бит.

Последовательность действий алгоритма тогда будет выглядеть таким образом: $P = 0$. Номер элемента

$$i = 1; P = P + b[i] * p[i] = 0 + 1 * 0.1 = 0.1;$$

$$i = i + 1 = 2; P = P + b[i] * p[i] = 0.1 + 0 * 0.1 = 0.1;$$

$$i = i + 1 = 3; P = P + b[i] * p[i] = 0.1 + 1 * 0.15 = 0.25;$$

$$i = i + 1 = 4; P = P + b[i] * p[i] = 0.25 + 0 * 0.15 = 0.25;$$

$$i = i + 1 = 5; P = P + b[i] * p[i] = 0.25 + 1 * 0.25 = 0.45;$$

$$i = i + 1 = 6; P = P + b[i] * p[i] = 0.45 + 0 * 0.25 = 0.45;$$

Выход из цикла, результат: $P = 0.45$.

Алгоритм расчета вероятностной меры для всей C-системы.

На рис 2. представлена блок-схема алгоритма подсчета вероятностной меры для всей C-системы.

Назначением алгоритма является определение вероятности, которая соответствует некоторому событию, описанному с помощью некоторой ортогональной C-системы

Выполнение алгоритма состоит из последовательного вычисления вероятностей всех включенных в систему строк. Конечный результат равен сумме вероятностей всех строк. Вероятность каждой строки, в свою очередь, равна произведению вероятностей всех входящих в неё элементов.

Пример 2. Пусть есть некоторая система A , определённая в схеме $U = D_1 \times D_2$, для которой определено вероятностное пространство (табл. 1 и 2).

Таблица 2

Вероятностное распределение для значений домена D_2

Элемент	1	2	3	4	5	6
Вероятность	0.1	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2

$$S = \begin{bmatrix} \{1\} & \{d, e, f\} \\ \{2, 3\} & \{b, c, d, e, f\} \\ \{4, 5, 6\} & \{a\} \end{bmatrix}.$$

Вероятность каждой компоненты будет равна:

$$\begin{bmatrix} p[1] & p[d] + p[e] + p[f] \\ p[2] + p[3] & p[b] + p[c] + p[d] + p[e] + p[f] \\ p[4] + p[5] + p[6] & p[a] \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.15+0.1+0.1 \\ 0.1+0.15 & 0.2+0.05+0.15+0.1+0.1 \\ 0.15+0.2+0.2 & 0.4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.35 \\ 0.25 & 0.6 \\ 0.55 & 0.4 \end{bmatrix}.$$

Вероятность всей системы тогда будет равна:
 $(0.1*0.35)+(0.25*0.6)+(0.55*0.4) = 0.405$.

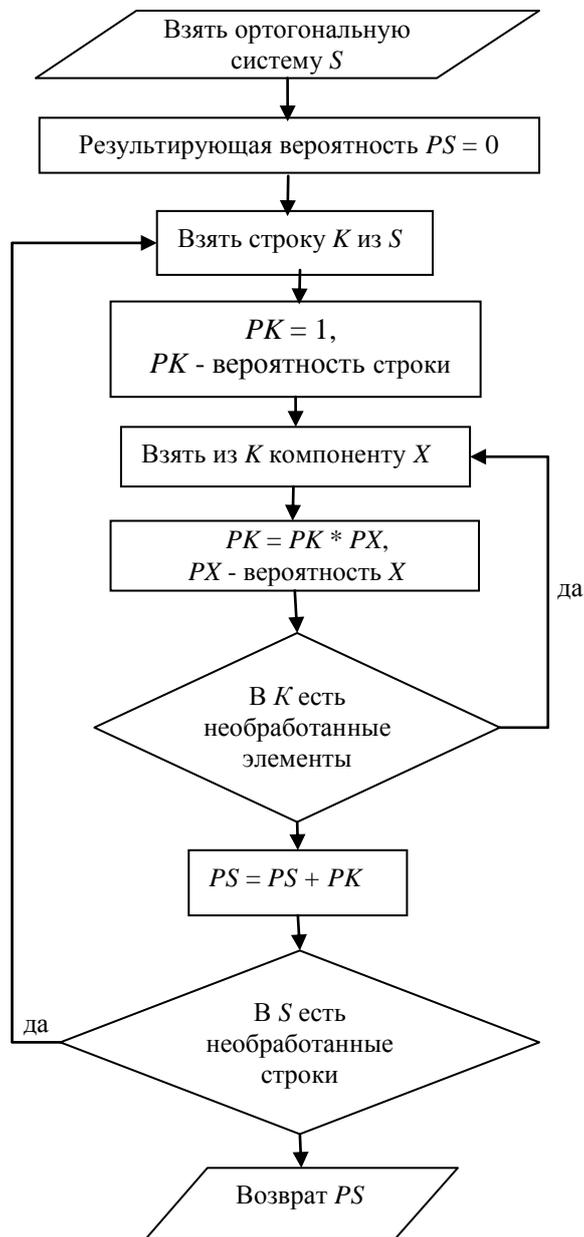


Рис. 2. Проведение процедуры ЛВА над отдельной С-системой

Пример расчета надежности системы со многими состояниями

С помощью представленного ранее алгоритма можно выполнять сравнение надёжности различных вариантов конфигурации технической системы и осуществлять выбор между несколькими вариантами действий.

Очевидно, что каждое множество состояний системы, которым соответствует некоторый выбор может быть представлен с помощью АК-объекта, в котором в качестве строк будут некоторые случаи или множества случаев, а в качестве столбцов – координаты ситуационного вектора.

Каждой такой системе сопоставляется некоторая вероятность, вычисляемая методами логико-вероятностного анализа и означающая “предпочтительность” прецедента (варианта выбора).

Процедура выбора между предоставленными вариантами тогда будет следующей:

- 1 Выделение случаев и построение на их основе S -систем, описывающие множества случаев, которым они соответствуют.
- 2 Определение числовых значений, соответствующих степени истинности каждого значения лингвистических переменных.
- 3 Процедура логико-вероятностного анализа для каждой системы
- 4 Сравнение получившихся значений; выбор прецедента с максимальным значением.

Рассмотрим летательный аппарат [10], состояния которого описаны некоторым вектором, составленным из переменных, каждая из которых определена на конечном множестве значений (табл. 3).

Таблица 3

Прецеденты иллюстрационного примера

№ п/п	Координаты ситуационного вектора				Вариант
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1.1	Выс.	Выс.	Выс.	Выс.	d_1
1.2	Выс.	Ср.	Ср.	Выс.	
2.1	Выс.	Ср.	Выс.	Мл.	d_2
2.2	Ср.	Выс.	Ср.	Ср.	

Пусть каждому значению каждой переменной соответствует некоторое значение вероятности, причем, все значения переменной образуют полную группу событий (табл. 4).

Таблица 4

Вероятностные пространства для лингвистических переменных

Вероятность \ Состояние	Малая	Средняя	Высокая
X_1	0.3	0.3	0.4
X_2	0.2	0.3	0.5
X_3	0.5	0.5	0.2
X_4	0.1	0.6	0.3

Используем имеющиеся данные, чтобы осуществить выбор между вариантами d_1 и d_2 и сравнить получившиеся в результате значения. Предпочтительным будет вариант с наибольшим значением получившейся вероятности.

В табл. 5 представлены расчеты, обосновывающие выбор в пользу прецедента d_1 , на основе представленных ранее алгоритмов ЛВА.

Таблица 5

Использование метода ЛВА при анализе прецедентов

№ п/п	Координаты ситуационного вектора				Произв.	Сумма
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1.1	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0300	0.0372
1.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.0072	
2.1	0.4	0.3	0.5	0.1	0.0060	0.0150
2.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.0090	

Основные классы и методы

Программная реализация использует библиотеку созданную ранее. Библиотека предоставляет базовые операции над АК-объектами и включает в себя следующие возможности и элементы [11]:

- структуры данных для хранения АК-объектов;
- алгоритмы, реализующие операции над АК-объектами;
- возможность чтения и записи используемых данных в xml-файл.

Основные классы библиотеки:

- akDomain, akIDomain — классы для представления АК-домена;
- akAttribute — класс для представления АК-атрибута;
- akComponent — класс для представления компоненты;
- akColumn — контейнер для хранения значений столбца некоторой системы;

- akScheme — класс для представления АК-схемы;
- akCSsystem, akDSsystem, akISsystem — классы для хранения АК-систем;
- akMain — контейнер, используемый для хранения всех используемых в программе АК-объектов.

Методы библиотеки:

- создание, удаление, редактирование используемых в библиотеке классов;
- операции объединения, пересечения, дополнения, минимализации АК-систем;
- операция ортогонализации АК-систем;
- обработка сложных составных операций над АК-объектами.

Для реализации методов ЛВА и хранения значения вероятностей событий были созданы классы, позволяющие осуществлять хранение и обработку метрических (вероятностных) характеристик АК-объектов. Диаграмма классов разработанного программного модуля представлена на рис. 3.

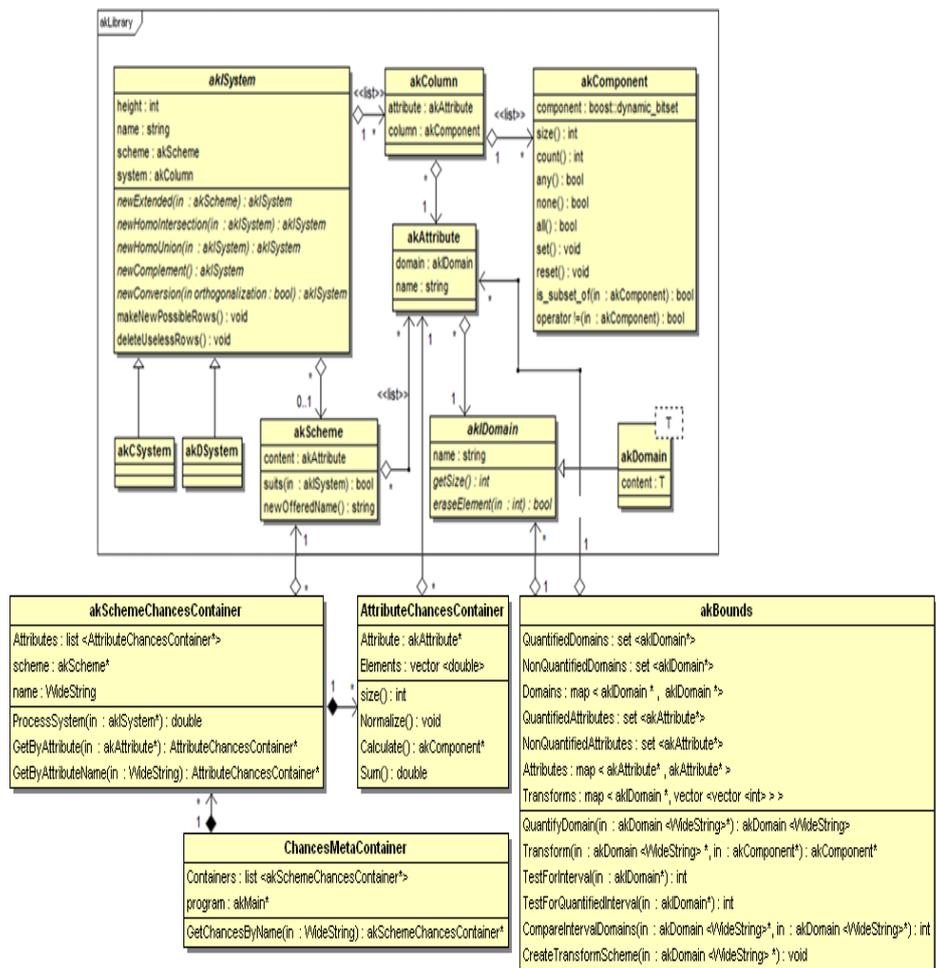


Рис. 3. Диаграмма классов разработанного программного модуля

Основные классы разработанной библиотеки:

- AttributeChancesContainer — контейнер, описывающий вероятности одной отдельной системы событий. Каждый экземпляр класса сопоставлен некому экземпляру класса akAttribute;
- akSchemeChancesContainer— контейнер, соответствующий некоторому вероятностному распределению и содержащий в себе несколько экземпляров AttributeChancesContainer. Каждому экземпляру класса сопоставлен экземпляр akScheme. Содержит в себе непосредственно алгоритм подсчёта вероятности некоторой C-системы для заданного вероятностного распределения;
- ChancesMetaContainer — контейнер, хранящий в себе все экземпляры akSchemeChancesContainer. Обычно существует только один экземпляр контейнера, который соответствует экземпляру класса akMain.

Также был разработан класс `akIntervalBounds`. Класс содержит в себе основные методы работы с интервальными доменами, также его цель состоит в хранении всех взаимоотношений между интервальными АК-объектами: класс хранит все домены и атрибуты, получающиеся при квантовании. Так как при квантовании одного и того же домена или атрибута получаются всегда идентичные домены/атрибуты, это предоставляет возможность вместо создания новых объектов использовать старые. Описание соответствий реализовано с помощью STL-контейнера «map», что позволяет быстро находить потенциально возможные для повторного использования АК-объекты или же убеждаться в факте их отсутствия.

COM-интерфейсы, разработанного модуля

Система допускает возможность использования своих функций внешними программами посредством встроенных COM-интерфейсов.

Допускается, что внешняя программа-клиент может формировать XML-файлы с данными о вероятностных пространствах и используемых АК-объектах, или знает об их расположении и содержании.

Интерфейс AKAutomation

Интерфейс `AKAutomation` является объектом OLE автоматизации и предоставляет функции работы с АК-объектами и ЛВА в общем виде. Взаимодействие с интерфейсом осуществляется с помощью трёх основных методов:

- `OpenAKFile(BSTR filename)` — является командой серверу открыть файл с описанием используемых АК-объектов, расположенный по адресу `filename`;
- `OpenChancesFile(BSTR filename)` — является командой серверу открыть файл с описанием используемых вероятностных пространств, расположенный по адресу `filename`;
- `ProcessSystem(BSTR SystemName, BSTR ProbabilitySpaceName)` — команда серверу произвести вероятностный анализ системы с именем `SystemName` в вероятностном пространстве с названием `ProbabilitySpaceName`.

Интерфейс AKDetailedAutomation

Интерфейс `AKDetailedAutomation` также является объектом OLE автоматизации и предоставляет функции работы с АК-объектами и ЛВА. Взаимодействие осуществляется с помощью следующих функций:

- `NewFile()` — создать новый пустой документ на сервере;
- `CreateDomain(BSTR name, long domtype)` — создаёт домен с именем `name`, тип домена передаётся в параметре `domtype`;
- `AddElementToDomain(BSTR domname, VARIANT element)` — добавляет в домен с названием `domname` элемент `element`, так как домены могут содержать элементы разных типов данных, передача с помощью встроенного типа `VARIANT`;
- `CreateAttribute(BSTR name, BSTR domname)` — создаёт атрибут с названием `name` над доменом с названием `domname`;
- `CreateScheme(BSTR name)` — создаёт схему с названием `name`;

- *AddAttributeToScheme(BSTR schemename, BSTR attributename)* — добавляет в схему с названием schemename атрибут с названием attributename.
- *CreateCSystem(BSTR name, BSTR scmname)* — создаёт C-систему с названием name в схеме scmname;
- *CreateDSystem(BSTR name, BSTR scmname)* — создаёт D-систему с названием name в схеме scmname;
- *AddRowToSystem(BSTR systemname)* — добавляет строку в систему;
- *SetComponent(BSTR systemname, long row, long column, BSTR bitset)* — устанавливает значение элемента столбца column строки row системы systemname в значение битового массива, переданном в строке bitset;
- *DeleteDomain(BSTR name)* — удаляет домен name;
- *DeleteAttribute(BSTR name)* — удаляет атрибут name;
- *DeleteScheme(BSTR name)* — удаляет схему name;
- *DeleteSystem(BSTR name)* — удаляет систему name;
- *NewOperation(BSTR expr, BSTR result)* — осуществляет выполнение выражения, описанного с помощью строки expr, записывает результат в систему result;
- *CreateProbabilitySpace(BSTR name, BSTR schemename)* — создаёт вероятностное пространство с именем name над схемой schemename;
- *SetChance(BSTR ProbabilitySpaceName, BSTR AttributeName, int Element, double Value)* — в вероятностном пространстве ProbabilitySpaceName в атрибуте AttributeName присваивает элементу с номером Element значение Value;
- *ProcessSystem(BSTR SystemName, BSTR spacename)* — осуществляет процедуру ЛВА над системой SystemName с помощью вероятностного пространства spacename.

Пользовательский интерфейс

Интерфейс приложения представляет собой оконное приложение с возможностями проводить различные операции с АК-объектами (рис. 4 а,б).

В ходе работы над приложением в интерфейс были добавлены следующие возможности (рис. 5):

- сопоставление элементам доменов значений вероятностей;
- логико-вероятностный анализ событий, представленных C-системами;
- квантование интервальных доменов.

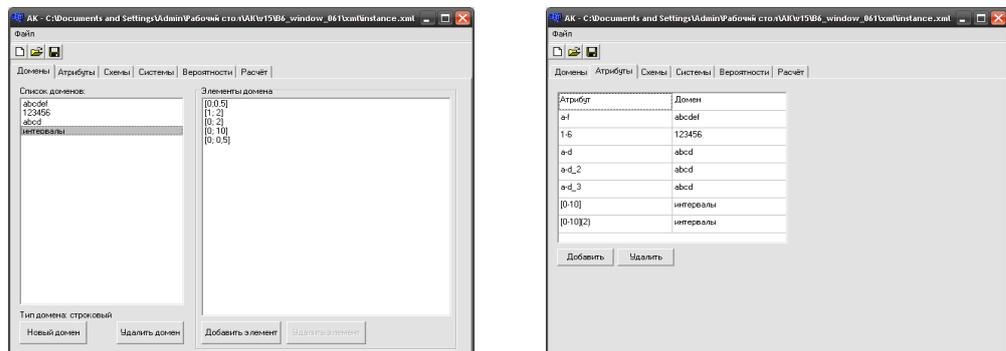


Рис. 4а. Вкладки для работы с атрибутами, схемами и системами

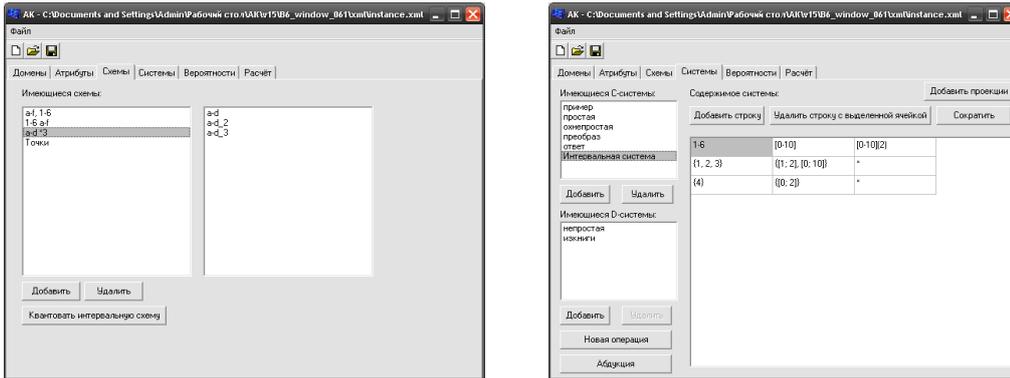


Рис. 4б. Вкладки для работы с атрибутами, схемами и системами

Для работы с вероятностными распределениями предусмотрена отдельная вкладка в главном окне. Вкладка содержит кнопки для создания и удаления вероятностного пространства, кнопки для сохранения и загрузки вероятностных пространств из файла, список выбора вероятностного пространства, список выбора атрибута выбранного вероятностного пространства и таблицу для редактирования значений вероятностей.

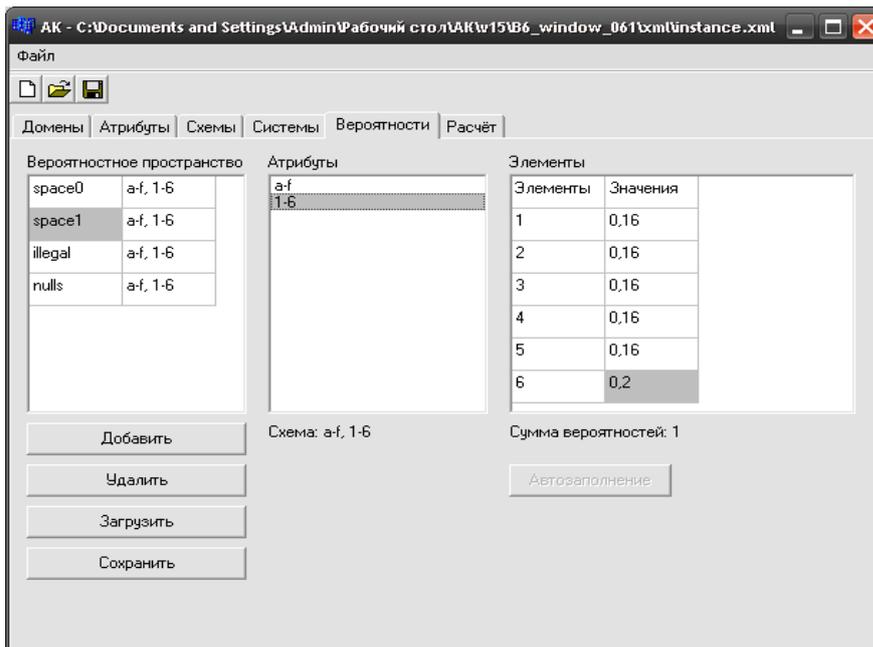


Рис. 5. Вкладка для работы с вероятностными распределениями

Логико-вероятностный анализ систем осуществляется в отдельной вкладке главного окна. Вкладка содержит список для выбора схемы, в которой будут находиться системы и вероятностные пространства, списки для выбора систем, кнопку для проведения вероятностной оценки систем.

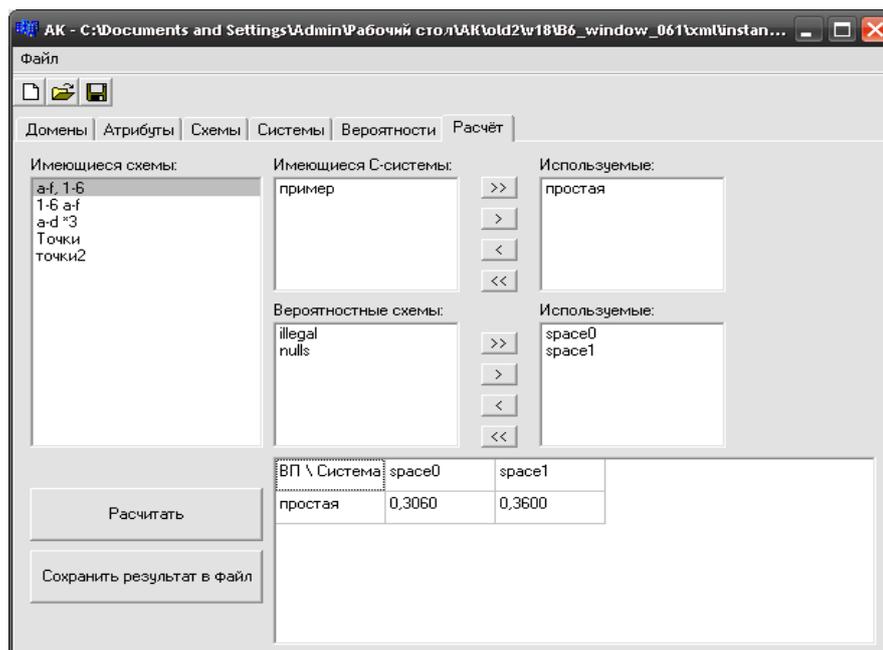


Рис. 6. Вкладка для проведения вероятностного анализа

Из рис. 6 видно, что одну и ту же *C*-систему можно погрузить в различные вероятностные пространства. С другой стороны, созданную вероятностную схему можно использовать для расчета нескольких *C*-систем, что обеспечивает поддержку многовариантных расчетов.

Заключение

В процессе работы над приложением выполнены следующие задачи:

- разработаны и реализованы классы для представления вероятностей систем, узлы которых могут находиться во многих состояниях;
- реализован алгоритм квантования доменов, значения которых заданы как система пересекающихся интервалов;
- разработан и запрограммирован алгоритм пересчёта компонент АК-объектов с учётом квантования доменов;
- реализованы алгоритмы унифицированного метода расчёта надёжностей структурно-сложных систем;
- создан эргономичный пользовательский интерфейс, позволяющий использовать вышеперечисленные возможности;
- разработан СОМ-интерфейс для доступа к функциям программы из внешних приложений.

Таким образом, разработанная система может быть использована как самостоятельно, так и в качестве внешнего программного модуля (сервера), предоставляющего функции работы с АК-объектами и методы ЛВА для других программных приложений.

Литература

1. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. / И .А. Рябинин. – СПб., Политехника, 2000. – 248 с.
2. Рябинин, И.А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. / И. А. Рябинин, Г. Н.Черкесов. – М., Радио и связь, 1981. – 264 с.
3. Соложенцев, Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Е.Д. Соложенцев. – СПб., Издательский дом "Бизнес-пресса", 2004. – 432 с.
4. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 235 с.
5. Зуенко, А.А. Матрицеподобные вычисления в задачах удовлетворения ограничений /А.А. Зуенко // Шестая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления, 30 сентября – 5 октября 2013 г., г. Геленджик, с. Дивно-морское: материалы мультиконференции в 4 т. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. -Т.1. – С.30-34.
6. Зуенко, А.А. Реализация комбинированных методов логико-семантического анализа с использованием алгебры кортежей / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, 16-20 октября 2012г., г. Белгород: труды конференции. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. -Т.2. - С.67-75.
7. Кулик, Б.А. Вероятностная логика на основе алгебры кортежей. / Б. А. Кулик // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. – № 1. – С.118-127.
8. Kulik, B. Modified Reasoning by Means of N-Tuple Algebra / B. Kulik, A. Zuenko, A. Fridman // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2011): Proceedings of the 11th International Conference, 18-20 May, Minsk, Republic of Belarus). – Minsk: BSUIR, 2011. – P.271-274.
9. Kulik, B. Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method / B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Cybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010). - Vienna, Austria, 2010. – P.198-203.
10. Федун, Б.Е. Вывод по прецеденту в базах знаний бортовых интеллектуальных систем / Б.Е. Федун, М.Д. Прохоров // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010. – Вып. 3. – С.63-72.
11. Зуенко, А.А. Реализация библиотеки АК-объектов / А.А. Зуенко, С.В. Баженов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 3. –4/2012(11). - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. –С.207-217.

Сведения об авторе

Зуенко Александр Анатольевич - к.т.н, научный сотрудник,

e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru

Alexander A. Zouenko - Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

УДК 004.94

С.С. Ковалёв, М.Г. Шишаев

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СПАМ-РАССЫЛОК НА ОСНОВЕ МАРШРУТНОЙ ИНФОРМАЦИИ СООБЩЕНИЙ

Аннотация

В статье предложена концепция идентификации источников рассылок почтового спама в сети Интернет (ботнетов), с помощью кластеризации множества получаемых сообщений, на основе содержащейся в них маршрутной информации. Дано описание используемой меры сходства объектов и алгоритма кластеризации и обоснована их применимость в контексте поставленной задачи.

Ключевые слова:

кластеризация, e-mail, спам, меры сходства, информационная безопасность.

S.S. Kovalev, M.G. Shishaev

IDENTIFICATION OF SPAM CAMPAIGNS ON THE BASIS OF MESSAGES ROUTING INFORMATION

Abstract

This article proposes the method for identification of sources of email spam campaigns (botnets) by means of clustering the set of received messages based on their routing information. There were described similarity measure and clustering algorithm which applicable for this task.

Key words:

clustering, e-mail, spam, similarity measures, information security.

Введение

Будучи одним из самых простых и дешёвых способов массового распространения информации, спам является как мощным маркетинговым средством, так и излюбленным инструментом мошенников и киберпреступников. Интернет-сервисы, в первую очередь электронная почта, предоставляя широчайшие возможности для коммуникаций, давно являются привлекательной средой для распространения спама: по статистике, спам составляет от 60% до 80% почтового трафика [1, 2]. В лучшем случае спам оказывается неприятностью, отнимающей у человека время на его прочтение и удаление, однако он может быть причиной и куда более серьёзного ущерба. Сейчас сервисы Интернет-коммуникаций активно используются в личной, рабочей и финансовой сфере жизни человека. Многие критически важные коммуникации в них осуществляются именно через электронную почту, что вызывает доверие к получаемой с её помощью информации и вынуждает обращать на неё повышенное внимание. Этим активно пользуются мошенники, рассылая сообщения, заставляющие пользователя непреднамеренно загружать вредоносное программное обеспечение, компрометировать свои личные данные или перечислять злоумышленникам денежные средства. Кроме того, спам

наносит урон и владельцам почтовых сервисов, подрывая их репутацию и вынуждая их тратить большие ресурсы на защиту пользователей.

Задача фильтрации почтового спама не нова, однако статистика показывает, что существующие её решения не всегда эффективны. В последние годы отмечен бурный рост числа пользователей Интернет-сервисов [3], что создаёт благодатную почву для получения высоких прибылей от распространения спама. Этот факт мотивирует распространителей спама изобретать всё новые средства обхода существующих фильтров, провоцируя этим «гонку вооружений» между средствами распространения спама и средствами его блокировки.

Одним из главных и самых распространённых на сегодняшний день инструментов киберпреступников являются *ботнеты* – группы сетевых узлов, на которых скрытно функционирует программное обеспечение, объединяющее эти устройства в логическую сеть под управлением некоторого «командного центра» и использующее их ресурсы для выполнения различных задач. Сегодня ботнеты могут состоять из сотен тысяч заражённых вредоносным программным обеспечением обычных компьютеров [4], или мобильных устройств (смартфонов и планшетов), подключенных к сети Интернет [5-6]. Большие вычислительные ресурсы и распределённая структура ботнетов обеспечивают их «живучесть» при обнаружении и блокировке отдельных их членов, что делает их идеальным средством распространения спама и позволяет производить спам-рассылки очень больших объёмов.

В этой работе предложена технология борьбы с почтовым спамом посредством идентификации ботнетов, используемых для его распространения. Ключевая идея этой технологии заключается в определении принадлежности сетевых узлов-источников сообщений электронной почты к определённым ботнетам на основе анализа содержащейся в этих сообщениях маршрутной информации. Применение такой технологии позволит блокировать нежелательные и вредоносные сообщения, отправленные узлами ботнетов, повышая тем самым устойчивость спам-фильтра к попыткам его обхода.

Описание технологии

Идея использования содержащейся в сообщениях электронной почты маршрутной информации для идентификации принадлежности их источников к определённому ботнету основана на том очевидном факте, что на всех узлах ботнета работает однотипное программное обеспечение, реализующее общие алгоритмы осуществления рассылок. Этот факт обуславливает наличие в маршрутной информации рассылаемых узлами ботнета сообщений общих характерных признаков. При этом вследствие того, что изменение инфраструктуры и логики работы ботнета является дорогостоящим и трудоемким процессом, такие признаки будут многократно повторяемы и неизменны в течение длительного времени, что даёт возможность их эффективного использования для автоматической идентификации этих ботнетов и фильтрации рассылаемых ими сообщений.

Предлагаемая технология идентификации ботнетов на основе маршрутной информации почтовых сообщений строится на решении трёх основных задач:

1. *Подготовка исходных данных.* Накапливается обучающая выборка – коллекция образцов почтовых сообщений, содержащая большое количество примеров, как спама, так и легитимных сообщений. Каждое сообщение из этой выборки представляется в виде вектора значений определённых характеристик, извлечённых из содержащейся в них маршрутной информации (*характеристического вектора*);

2. *Кластеризация обучающей выборки.* Производится кластеризация множества полученных характеристических векторов для обнаружения в обучающей выборке подмножеств образцов сообщений, имеющих схожую маршрутную информацию;

3. *Идентификация ботнета.* Полученные кластеры подвергаются анализу на предмет выявления среди них таких, которые содержат сообщения, потенциально исходящие от некоторого ботнета. Характеристики маршрутной информации образцов сообщений, составляющих найденные «ботнет-кластеры», в дальнейшем используются для блокировки рассылаемых посредством ботнетов сообщений.

Очевидно, что ключевой задачей, в наибольшей степени, влияющей на получаемый результат, является задача кластеризации обучающей выборки. Эта задача сводится к разбиению исходного множества объектов (образцов сообщений) на подмножества таким образом, что элементы одного подмножества существенно отличаются по некоторому набору свойств от элементов всех других подмножеств. Успешное решение задачи кластеризации основывается на решении двух основных проблем:

- выбор способа определения меры сходства между объектами множества (метрики);
- выбор алгоритма кластеризации.

Этот выбор критичен, поскольку непосредственно влияет на качество получаемого в результате кластеризации результата и зависит в первую очередь от природы используемых данных.

Природа используемых данных и мера сходства

Объекты обучающей выборки представляют собой векторы значений характеристик, описывающих маршрутную информацию сообщения электронной почты. Используемые характеристики и типы их значений перечислены в табл.

Используемые характеристики и типы их значений

Характеристика	Тип данных
Географическая принадлежность IP-адреса узла из первого заголовка Received	Категориальный
Наличие reverse DNS узла из первого заголовка Received	Категориальный
Количество узлов маршрута	Числовой
Максимальное время перехода между узлами маршрута	Числовой
Наличие узлов маршрута, принадлежащих абонентским подсетям операторов связи	Логический
Наличие узлов маршрута, которые являются открытыми прокси-серверами	Логический

Из табл. видно, что объекты пространства данных являются гетерогенными – представляют собой точки в многомерном пространстве данных с неоднородными измерениями, соответствующими характеристикам объекта.

Ключевой проблемой вычисления сходства между гетерогенными объектами данных является тот факт, что типы атрибутов различны по своей природе, обладают различными свойствами, и к ним не может быть применена единая метрика. Как следствие, возникает необходимость решения двух задач:

1. Определение используемой метрики для каждого типа характеристик и вычисление сходства пары объектов по каждой из характеристик отдельно.
2. Объединение полученных значений сходства объектов по каждой из характеристик в общее значение меры сходства объектов.

Метрика для каждого типа атрибутов может вычисляться различными способами в зависимости от специфики предметной области. Чтобы сделать возможным последующее объединение полученных значений сходства объектов по каждой из характеристик, необходимо чтобы эти значения лежали в одном диапазоне, то есть требуется нормализация области значений всех измерений пространства данных. Нормализация представляет собой отдельную проблему, особенно сложную в случае с категориальными измерениями.

В [7] авторы предложили метрику Value Difference Metric (VDM), которая учитывает информацию о классовой принадлежности объектов данных. При использовании метрики VDM сходство значений атрибута считается тем больше, чем теснее их корреляция с заданным классом. Для значений x и y атрибута a эта метрика определяется как

$$vdm_a(x, y) = \sum_{c=1}^C |P(c|x_a) - P(c|y_a)|^q \quad (1)$$

где C – число классов в рассматриваемой предметной области;

$P(c|x_a)$ – условная вероятность того, что при условии принадлежности объекта к классу c значение атрибута x будет равно a ;

q – константа (обычно берётся равной 1 или 2).

Очевидно, что в контексте идентификации источников спама при вычислении сходства значений характеристик рассматриваемых классов будет два: «спам» и «не спам».

Общая мера сходства объектов будет определяться как

$$vdm(A, B) = \sum_{t=1}^n vdm_t \quad (2)$$

где A, B – объекты данных;

t – компонент характеристического вектора.

Ключевое достоинство метрики VDM заключается в возможности объединить сходства объектов по каждому компоненту характеристического вектора без необходимости нормализации областей их значений, поскольку при вычислении значения меры сходства используется вероятностное представление корреляции с классами (в виде условной вероятности принадлежности объекта к классу). Кроме того, вычисление сходства компонентов характеристического вектора как степени тесноты корреляции с заданным классом обеспечивает единый смысл меры сходства для каждого компонента независимо от его типа.

Таким образом, метрика VDM решает проблемы вычисления сходства гетерогенных объектов данных и может быть использована для вычисления сходства маршрутной информации сообщений из обучающей выборки.

Метод кластеризации на основе поиска k -сетей

Перед изложением предлагаемого алгоритма кластеризации, множества образцов сообщений из обучающей выборки, необходимо ввести следующие определения.

Пусть:

$G = (V, E)$ – неориентированный граф;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин в G ;

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество рёбер в G ;

$|G|$ – количество вершин в G ;

$deg_G(v)$ – степень вершины v в G ;

$G[S] = (S, E \cap S \times S)$ – подграф, индуцированный множеством вершин $S \subseteq V$.

Определение 1. Подмножество вершин $S \subseteq V$ называют *кликой*, если все вершины в нём попарно смежные.

Определение 2. Подмножество вершин $S \subseteq V$ называют *k -сетью* (*k -plex*) [8], если $deg_{G[S]}(v) > |S| - k$ для любой вершины v из S .

Иными словами, любая вершина в k -сети является смежной всем, кроме $k - 1$ других вершин. Таким образом, 1-сеть является кликой, а при $k > 1$ – релаксацией клики. Так, граф, изображённый на рис. 1а является кликой, а на рис. 1б – 2-сетью.

Определение 3. Клика (k -сеть) является максимальной, если она не является подграфом другой клики (k -сети).

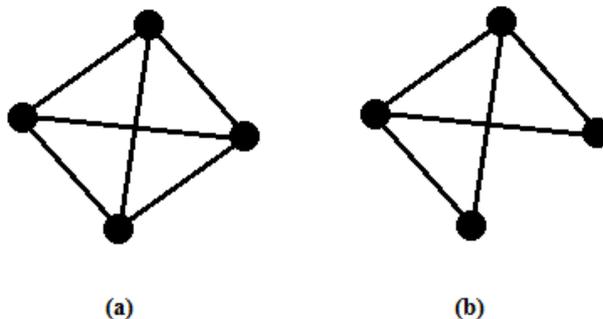


Рис. 1. Клика и 2-сеть

Для выявления в обучающей выборке подмножеств образцов сообщений со схожей маршрутной информацией требуется произвести кластеризацию исходного множество образцов сообщений таким образом, чтобы в результирующих кластерах попарное значение меры сходства любых его членов было наибольшим.

Добиться отыскания удовлетворяющих поставленным требованиям кластеров можно с помощью алгоритмов кластеризации, построенных на теории графов. В их основе лежит представление рассматриваемого множества

объектов в виде графа с последующим извлечением из него подграфов, обладающих заданными характеристиками. Эти подграфы и будут представлять искомые кластеры.

Очевидным алгоритмом кластеризации с помощью графов, находящим удовлетворяющие поставленным условиям кластеры, является алгоритм на основе поиска клик:

1) Для всех образцов сообщений в обучающей выборке попарно вычисляется значение меры сходства маршрутной информации.

2) Множество образцов сообщений представляется в виде полного неориентированного взвешенного графа, в котором вершинами являются образцы сообщений, а веса рёбер между ними равны значению меры их сходства.

3) Из графа удаляются все рёбра, вес которых не достигает некоторого заданного порогового значения.

4) В оставшемся графе находятся максимальные клики, которые и будут являться искомыми кластерами.

Нахождение клик – идеальная ситуация, когда в найденных кластерах попарное значение меры сходства между любыми членами кластера не будет превышать заданного порогового значения. Однако на практике это требование может оказаться чрезмерно строгим и привести к обнаружению или очень малого количества групп, или большого количества групп, состоящих из очень маленького числа членов, которые будут неинформативны и бесполезны.

Во избежание такой ситуации требование поиска максимальных клик предлагается смягчить и вместо поиска максимальных клик предлагается использовать поиск *k-сетей*. Тогда будут найдены такие группы образцов сообщений, для любого члена которых сходство маршрутной информации со всеми остальными членами группы кроме $k - 1$ находится в пределах заданного порогового значения. Это предложение основано на том предположении, что если значение меры сходства маршрутной информации пары образцов сообщений не достигает заданного порогового значения, то при малых значениях k ($k = 2, 3$) косвенно их восприятие спама всё равно можно считать сходным на основании наличия большого числа общих схожих образцов. Такой подход позволит определять в обучающей выборке сообщений большие и информативные кластеры, характеристики которых потенциально могут описывать некоторый ботнет.

Поиск максимальных клик в графе – хорошо известная задача, одним из самых популярных алгоритмов решения которой является алгоритм Брона-Кербоша [9]. Для поиска максимальных *k-сетей* в графе может быть применён модифицированный алгоритм Брона-Кербоша, описанный в [10].

Заключение

В данной работе предложена концепция идентификации ботнетов-источников рассылок почтового спама с помощью кластеризации обучающей выборки сообщений, на основе, содержащейся в них маршрутной информации. Такой подход потенциально обеспечивает большую эффективность в сравнении с методами идентификации спама, основанными на рассмотрении собственно тела письма как объекта идентификации. Эта эффективность обусловлена тем фактом, что характеристики источника нежелательных рассылок существенно

более стабильны во времени по сравнению с параметрами спам-корреспонденции как таковой.

В рамках работы были проанализированы и определены требования, к используемым для осуществления кластеризации способу вычисления меры сходства, между объектами и алгоритму кластеризации. В результате было предложено использование метрики VDM и алгоритма кластеризации на основе поиска k -сетей в графе как полностью удовлетворяющие предъявленным требованиям. В дальнейших исследованиях необходимо экспериментально оценить применимость предложенной технологии в реальных условиях и оценить достигаемую с её помощью эффективность блокировки рассылок спама. Также необходимо определить оптимальные значения k в алгоритме кластеризации на основе поиска k -сетей для достижения как можно более качественной кластеризации.

Литература

1. Спам во втором квартале 2013 г. - Режим доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050806/Spam_vo_vtorom_kvartale_2013
2. Спам в третьем квартале 2013 г. - Режим доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050817/Spam_v_tretem_kvartale_2013
3. Internet Usage Statistics. -Режим доступа: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
4. The World's Biggest Botnets. - Режим доступа: <http://www.darkreading.com/management/the-worlds-biggest-botnets/208808174>
5. The Most Sophisticated Android Trojan. - Режим доступа: http://www.securelist.com/en/blog/8106/The_most_sophisticated_Android_Trojan
6. В России нашли крупнейшую в мире сеть заражённых смартфонов на Android. - Режим доступа: http://www.cnews.ru/top/2013/09/20/v_rossii_nashli_krupneyshuyu_v_mire_set_zarazhennyh_smartfonov_na_android_543785
7. Cover, T. Nearest neighbor pattern classification / T. Cover, P. Hart //IEEE Transactions on Information Theory.- 1967. - Vol. 13. – С.21-27.
8. Seidman, S.B. A graph-theoretic generalization of the clique concept / S.B. Seidman, B.L. Foster / Journal of Mathematical Sociology. - 1978. - Vol. 6. – С.139-154.
9. Bron, C. Algorithm 457 — Finding all cliques of an undirected graph / C. Bron, J. Kerbosh //Comm. of ACM, 16, 1973. – P.575-577.
10. Wu, B. A parallel algorithm for enumerating all the maximal k -plexes / B. Wu, X. Pei //PAKDD'07 Proceedings of the 2007 international conference on Emerging technologies in knowledge discovery and data mining, 2007. – С.476-483.

Сведения об авторах

Ковалёв Сергей Сергеевич – стажер-исследователь,

e-mail: srg.kvly@gmail.com

Sergey S. Kovalev - Probationer-researcher

Шишаев Максим Геннадьевич – д.т.н., заведующий лабораторией,

e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev - Dr. of Sci (Tech), Head of laboratory

УДК 004.94

А.С. Неведров, А.Г. Олейник

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ*

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы организации исполнительной среды обработки информации и моделирования при исследовании и поддержке управления производственными процессами обогащения минеральных полезных ископаемых. Основное внимание уделено сервис-ориентированной архитектуре исполнительной среды.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, производственный процесс, распределенная среда, сервис-ориентированная архитектура.

A.S. Nevedrov, A.G. Oleynik

ORGANIZATION OF THE DISTRIBUTED EXECUTION ENVIRONMENT TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF COMPLEX INDUSTRIAL PROCESSES MODELING

Abstract

The paper deals with the organization of the executive environment for information processing and modeling in the investigation and the control support of the industrial mineral dressing processes. The focus is on service-oriented architecture of the executive environment.

Key words:

computer modeling, industrial process, distributed environment, service-oriented architecture.

Введение

В рамках использования средств компьютерного моделирования для разработки и совершенствования аппаратов и технологических схем обогащения полезных ископаемых, а также оперативного управления производственными процессами обогащения, отдельное внимание должно уделяться вопросу эффективной организации исполнительной среды моделирования. В зависимости от целей моделирования приоритетные требования к его реализации различны. Так на «исследовательском» этапе, целью которого является определение эффективных конструкций аппаратов, режимов и схем разделения минеральных компонентов, приоритетным требованием будет точность моделей, обеспечивающая необходимую детальность представления объекта исследования, а быстродействие моделей – второстепенным. Модели, интегрируемые

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-07-98800-р_север_а «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

в контур оперативного управления производственными процессами, напротив, должны отвечать жестким временным ограничениям на получение результата, точность которого предъявляются более мягкие требования. На сегодняшний день существует целый ряд инструментальных средств компьютерного моделирования и инженерных расчетов, позволяющих использовать различные математические методы для создания моделей обогатительных процессов [1]. Так для исследования конструкций и режимов функционирования разделительных аппаратов активно применяются инструментальные средства, реализующие методы вычислительной гидро-аэродинамики (CFD-пакеты). Они обеспечивают возможность построения моделей, детально отражающих движение минеральных частиц в объеме разделительных аппаратов, но являются довольно ресурсоемкими. Для повышения скорости вычислений многие инструментальные средства данной категории имеют встроенные механизмы распараллеливания на основе MPI (Message Passing Interface). К другой категории относятся модели, основанные на использовании метода системной динамики. Такие модели предназначены не для изучения деталей процессов разделения, а обеспечивают «укрупненную» имитацию разделительного процесса с целью оперативной оценки влияния вариабельности его параметров на значения характеристик выходных продуктов, или других контролируемых показателей. Модели данного типа позволяют достаточно быстро получить результат варианта вычислительного эксперимента, что делает их перспективными с точки зрения использования в контуре оперативного управления производственными процессами обогащения. Системно-динамическая модель может быть создана как для отдельного разделительного аппарата, так и для их комплекса, или всей схемы обогащения в целом. Аналогичными свойствами, с точки зрения оперативности получения результата, обладают средства Steady-state моделирования. Они реализуют одношаговый метод анализа (без зависимости от времени), который позволяет получить решения по усредненным характеристикам, используя эмпирические формулы.

Пути повышения скорости расчетов при моделировании производственных процессов

В исследованиях рассматривались два механизма ускорения расчетов, выполняемых моделями обогатительных процессов и аппаратов. Первый - распараллеливание вычислений. Второй – выбор состава и структуры исполнительской среды из некоторого набора доступных программных и аппаратных ресурсов, обеспечивающих наиболее эффективную реализацию конкретного вычислительного эксперимента. Очевидно, что наибольший эффект дает решение, в рамках которого эти два варианта используются совместно. Современные технологии предоставляют различные варианты аппаратной поддержки параллельных вычислений. Использование многопоточных графических процессоров (GPU - Graphical Processing Unit) позволяет реализовать высокопроизводительные параллельные вычисления на персональном компьютере. Подобные экономичные решения используются в мировой практике в качестве аппаратной платформы для симуляции различных процессов и выполнения инженерных расчетов высокой размерности. Эффективным, с точки зрения производительности, является использование специализированных

многопроцессорных вычислительных кластеров. Но данный вариант имеет ограниченное применение из-за высокой стоимости аппаратного решения. Учитывая общий уровень развития телекоммуникационных систем, глобальной информационной инфраструктуры и рост популярности облачных вычислений (от англ. *cloud computing*) [2], перспективным является использование существующих в облаках программных и аппаратных ресурсов при решении различных задач в области исследования процессов обогащения. Очевидно, что далеко не все задачи конкретного исследования могут быть решены на основе их использования, но обращение к ним может существенно сократить объем необходимых авторских разработок. Для обращения к представленным в облаках программным разработкам предлагаются технологии, получившие в «облачной» терминологии название *SaaS* (от англ. *Software-as-a-Service*) - *Программное обеспечение как услуга*. Они обеспечивают потребителю возможность использовать ресурсы облака, обращаясь к ним через клиентские устройства, в результате чего собственная программно-аппаратная база клиента может быть существенно упрощена. Для организации уровня SaaS наиболее подходящей является сервис-ориентированная архитектура, согласно которой каждый программный компонент представляется в виде сервиса с четко определенным интерфейсом. Это позволяет взаимодействовать гетерогенным программным средствам, доступ к возможностям которых осуществляется с помощью адаптера (обычно, web-сервиса), который обрабатывает поступающие запросы и вызывает соответствующие методы.

Типовыми требованиями, предъявляемыми к распределенным системам, имеющим сервис-ориентированную архитектуру, относятся:

- открытость, обеспечиваемая использованием проверенных стандартов в различных механизмах системы;
- масштабируемость системы за счет поддержки возможности добавления новых ресурсов (инструментов);
- интероперабельность системы по отношению к гетерогенным слабо связанным ресурсам;
- отказоустойчивость системы в рамках проведения вычислительного эксперимента, подразумевающая возможность корректного продолжения эксперимента при отключении отдельных ресурсов во время их использования для вычислений;
- обеспечение «прозрачного» использования ресурсов с точки зрения пользователя;
- предоставление единого формата спецификации интерфейсов ресурсов и средств для создания таких описаний;
- поддержка различных режимов вызова ресурсов и служб;
- обеспечение безопасного доступа к ресурсам за счет применения соответствующих политик доступа к ресурсам, авторизации и аутентификации пользователей.

Архитектура распределенной системы обработки информации

С учетом указанных требований была разработана архитектура распределенной системы организации вычислительного эксперимента (рис.1). Основным компонентом системы является Модуль управления заданиями (МУЗ), выполняющий функции определения, планирования и мониторинга заданий, поступающих от пользователей системы. Данный модуль принимает от пользователя задание (спецификацию исполнительской среды), подбирает конкретных исполнителей на каждый этап задания и помещает готовые для выполнения задания в очередь, ожидая доступности исполнителей. После успешного запуска задания МУЗ отслеживает его состояние и информирует пользователей о ходе выполнения.

За регистрацию, контроль и мониторинг исполнителей отвечает Модуль управления исполнителями (МУИ). Данный модуль отслеживает состояние исполнителей и предоставляет данные для МУЗ при планировании и в ходе выполнения задания. В соответствии с описанием задания, полученного из МУЗ, вызываются требуемые удаленные сервисы-исполнители, представляющие собой агрегат адаптера с инструментальным средством.

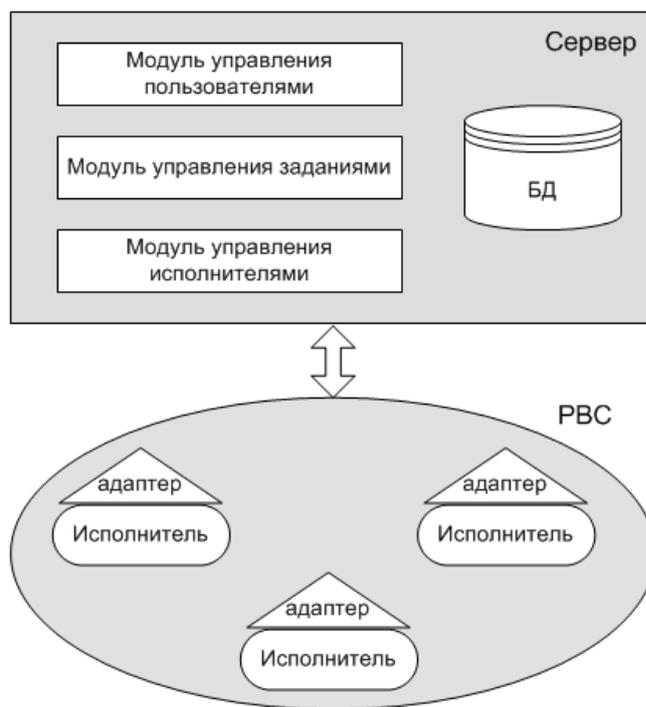


Рис. 1. Схема сервис-ориентированной распределенной системы организации вычислительного эксперимента

Для предоставления доступа пользователям к возможностям системы и выдачи прав на использование тех или иных исполнителей отдельно выделен Модуль управления пользователями (МУП). Пользователям предоставляются следующие возможности:

- формирование нового задания с передачей в систему входных данных;
- отслеживание состояния созданных заданий;
- просмотр промежуточных и конечных результатов;
- отмена выполняющихся заданий.

Все данные о пользователях, заданиях, промежуточных результатах и исполнителях хранятся в Базе данных системы. Входные данные для заданий и все результаты хранятся на сервере и передаются исполнителям по требованию.

Учитывая то, что при решении конкретной задачи моделирования или обработки данных может потребоваться обращение к большому числу ресурсов, распределенная система строится с использованием стиля REST (Representational State Transfer) [3]. Данный стиль имеет следующие важные особенности:

- все используемые сущности являются ресурсами и имеют уникальный адрес;
- для взаимодействия компонентов системы (запросы GET, PUT, POST, DELETE) используется HTTP-протокол.

Согласно этому Исполнитель характеризуется своим адресом в сети (URI - Uniform Resource Identifier) и спецификацией интерфейса, содержащей описание анонсируемых методов и формата передаваемых параметров. Для соблюдения соглашения о платформонезависимости адаптеров взаимодействие осуществляется посредством передачи сообщений в формате расширяемого языка разметки XML (eXtensible Markup Language,) с помощью HTTP-протокола. Спецификация такого сообщения описывается в виде XML Schema, что позволяет проводить проверку содержимого на корректность. Взаимодействие сервера с исполнителями возможно в двух вариантах:

- исполнитель, после выполнения своей части задания, передает результат обратно на сервер, а сервер в свою очередь полученные данные передает следующему исполнителю;
- исполнители в соответствии со спецификацией задания взаимодействуют непосредственно друг с другом, минуя сервер, что позволяет не затрачивать время на передачу результатов через сервер в задачах, в которых время критично.

В любом случае сервер опрашивает исполнителей для отслеживания сбоев в ходе выполнения заданий. При возникновении сбоя (потеря связи, ошибка выполнения и другие) МУЗ корректирует задание, подбирая с помощью МУИ альтернативных исполнителей. Подбор исполнителей производится с учетом следующих критериев:

- наличие прав доступа;
- коэффициент доступности исполнителя (основан на времени);
- загруженность узла, на котором размещен исполнитель;
- локализация узла в сети (для уменьшения трафика в случае прямого взаимодействия исполнителей).

Схема реализации адаптера

Адаптер представляет собой web-сервис (рис.2), построенный на базе сервера приложений с открытым кодом GlassFish. Для взаимодействия сервера с адаптером используются следующие HTTP-запросы:

- GET job_id – получение состояния указанного задания;
- POST job_id – запуск указанного задания;
- DELETE job_id – отмена указанного задания;
- GET INFO – получение описания методов.

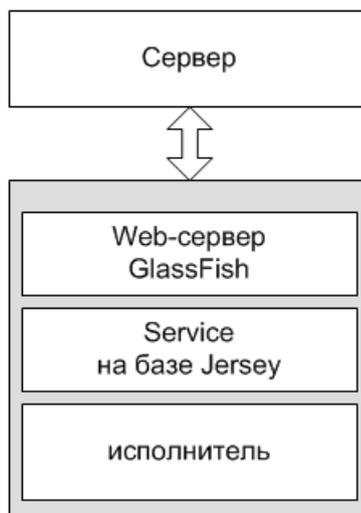


Рис. 2. Архитектура адаптера

Адаптер реализован с использованием языка Java и библиотеки Jersey – реализация открытой спецификации JAX-RS (Java API for RESTful Web Services). Ниже, в качестве примера представлена функция `getStatusById` для обработки запроса состояния задания используется:

```
...
@Path("service")
public class Service {
    @GET
    @Path("{job_id}")
    @Produces(MediaType.APPLICATION_XML)
    public int getStatusById(@PathParam("job_id") long id) {
        Job curr_job = Data.findJobById(id);
        if (curr_job == null) {
            throw new RuntimeException("can't find job with id = " + id);
        }
        return curr_job.status;
    }
}
....
```

Аналогичным образом реализуются и другие обработчики поступающих запросов к адаптеру. Запрос POST инициирует запуск исполнителя: адаптер по номеру задания запрашивает с сервера файлы и передает их исполнителю на вход. По завершению работы выходные данные передаются обратно на сервер, а также меняется состояние исполнителя и задания.

Использование HTTP-протокола позволяет включить стандартные коды ошибок для описания исключительных событий (недоступность адаптера, ошибки в работе), а также SSL (Secure Sockets Layer) для обеспечения безопасного взаимодействия элементов системы.

Заключение

Сервис - ориентированный подход облегчает реализацию распределенных систем за счет инкапсулирования функциональности гетерогенных приложений (исполнителей) в сервисах. Обеспечение прозрачности достигается за счет четко определенного интерфейса и стандартных протоколов взаимодействия. Использование стиля REST позволяет воспользоваться возможностями протокола HTTP и обеспечить масштабируемость всей системы. Кроме того, построение адаптеров на языке Java дает возможность объединить в системе приложения на различных платформах.

Литература

1. Неведров, А.С. Об инструментальных средствах определения эффективных режимов обогащения минеральных руд / А.С. Неведров, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России, 2011. -№5 (123). - С.35-38.
2. Gillam, Lee. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications / Editors: Nick Antonopoulos, Lee Gillam. - L.: Springer, 2010. - 379 p.
3. Fielding, Roy Thomas. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000. -Режим доступа:<http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>.

Сведения об авторах

Неведров Алексей Сергеевич - программист,

e-mail: nevedrov@arcticsu.ru

Alexey S. Nevedrov - Programmer

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института,

e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), Deputy director

УДК 65.011.56, 62.50

И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов, А.Г. Олейник

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН
Кольский филиал ПетрГУ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ*

Аннотация

В статье рассмотрены подходы к построению моделей экспресс-анализа и прогнозирования производственных процессов обогащения минерального сырья. Особенности объекта исследования дают основания считать перспективным применение для моделирования методов нечеткой логики и нейронных сетей. Представлены основные аспекты создания моделей обогащенных процессов с использованием указанных методов.

Ключевые слова:

технологический процесс, компьютерное моделирование, нечеткая логика, нейронная сеть.

DEVELOPMENT OF MODELS BASED ON NEURAL NETWORKS AND FUZZY LOGIC FOR EXPRESS ANALYSIS OF ORE-DRESSING PROCESSES

Abstract

The article considers the approaches to the construction of models for express analysis and forecasting of manufacturing processes of minerals concentration. The investigation subject properties suggest that applications of fuzzy logic and neural networks methods for simulation are promising. The basic aspects of models creating by using these methods are presented.

Key words:

manufacturing process, computer simulation, fuzzy logic, neural network.

Введение

Внедрение на предприятиях автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления и сбора данных (supervisory control and data acquisition – SCADA - систем) открывает принципиально новые возможности получения эмпирической информации об обогащенных процессах. На использование данных оперативного мониторинга производственных процессов обогащения ориентирована технология их оперативного прогнозирования, основные аспекты которой представлены в работе [1]. Технология предполагает интеграцию в действующие на промышленных предприятиях SCADA-системы специализированных средств компьютерного моделирования с целью оперативного прогнозирования технологических показателей производственного процесса. Одной из ключевых задач технологии является определение формальных связей между компонентами пространства входов и компонентами пространства выходов процесса [2]. Решение данной задачи осложняется

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-07-98800-р_север_а «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

многомерностью и гетерогенностью этих пространств. Вместе с этим, большие объемы данных мониторинга параметров производственных процессов, предоставляемые SCADA-системами, дают основания считать, что положительные результаты могут быть получены в результате применения методов Data Mining [3], позволяющим не только выявить неявные взаимосвязи в данных, но и существенно снизить размерность задачи. Перспективным, также, может быть применение в рамках рассматриваемой технологии методов нечеткой логики [4] и нейронных сетей [5] для построения моделей экспресс-анализа и прогнозирования параметров производственного процесса по данным текущего мониторинга. Это предположение подтверждается тем, что аппарат нечеткой логики уже включается в библиотеки ряда SCADA-систем, таких как: LABVIEW DSC, DELTAV, SIMATIC WINCC, TRACE MODE и других. Способности нейронных сетей к прогнозированию напрямую следуют из их способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений и/или каких-то существующих в настоящий момент факторов.

Схема применение аппарата нечеткой логики для построения моделей процессов обогащения

В работе [2] предложен вариант формального представления многоэтапного технологического процесса обогащения (рис. 1).

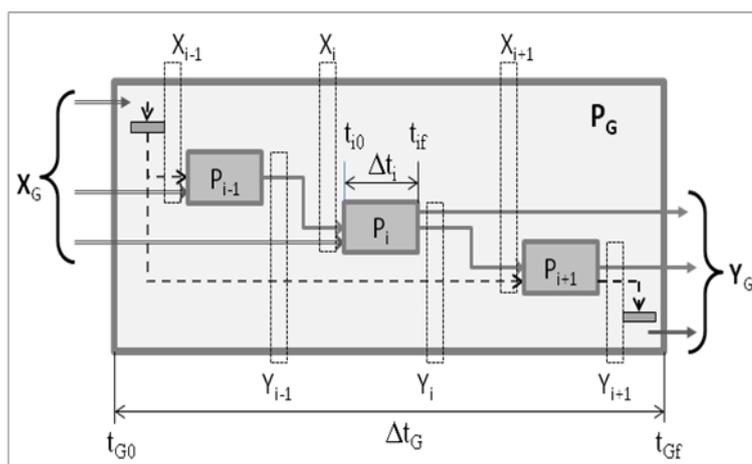


Рис. 1. Схема формального представления многоэтапного технологического процесса

На схеме использованы следующие обозначения:

P_i – аппарат или этап технологической схемы P_G ;

X – множество входных воздействий, влияющих на объект управления. В данное множество в качестве элементов включаются как внешние входы P_G , так и входы отдельных аппаратов P_i . Входами могут быть как контролируемые воздействия (управление), так и неуправляемые воздействия (возмущения). Возмущения в некоторых случаях измеримы, а в других - нет, и могут быть оценены лишь в словесной форме (большое, маленькое и т.д.);

Y – множество выходов, которое, аналогично множеству X , объединяет выходы всей схемы P_G и выходы отдельных аппаратов P_i . Все выходы считаются потенциально контролируруемыми, хотя на практике, как правило, контролируется только часть из них.

Далеко не все связи между входными сигналами и выходами могут определяться в виде классических передаточных функций $W(p)$. Это обусловлено размерностью задачи и степенью изученности исследуемого объекта. Зная о наличии некоторого параметра (фактора) не всегда удается его измерить или оценить достаточно точно. Однако если предполагается его значимое влияние на динамику процесса, данный параметр должен быть включен в рассмотрение. При невозможности точной (количественной) оценки параметру может быть задана нечеткая (лингвистическая) оценка.

Априорно принятым положением реализуемого подхода к разработке технологии оперативного прогнозирования обогатительных процессов является наличие неявного взаимного влияния технологических параметров процесса на характеристики продуктов разделения. Поэтому анализ начинается с рассмотрения ситуации, когда предполагается значимое влияние не только характеристик исходного сырья, но и всех технологических параметров на характеристики выходов процесса. Модель процесса представляется в виде направленного графа, узлами которого являются параметры, а дуги обозначают их влияние друг на друга. Подобное представление технологического процесса является неким подобием нейросети, в узлах которой находятся функции, осуществляющие преобразование сигналов. При этом часть функций представляется в виде «классических» передаточных функций $W(p)$, а часть – в виде «нечетких передаточных функций». Важной особенностью «нечетких передаточных функций» является их способность не только преобразовывать сигналы, но и осуществлять настройку передаточных функций узлов описанных с помощью $W(p)$. Данная особенность реализует свойство адаптивности модели, которое является весьма полезным с учетом динамичности свойств процесса.

Для реализации нечетких передаточных функций для соответствующих параметров вводятся нечеткие функции принадлежности (ФП). Начальная картина функций принадлежности формируется путем разбиения наблюдаемого (или - теоретического) интервала варибельности параметра на конечное число небольших отрезков и сопоставление каждому из них нечеткой ФП. Следует отметить, что использование большого количества нечетких ФП может сильно замедлить процесс вычисления. Поэтому изначально заданные интервалы разбиения диапазонов варьирования параметров следует, по возможности, укрупнить для снижения размерности задачи. Наличие больших объемов данных мониторинга обогатительного процесса позволяет установить соответствие между большинством интервалов значений выходного параметра и интервалами значений входов, при которых получен данный выход. Сокращение числа интервалов может осуществляться как на основе анализа имеющихся данных мониторинга, так и на основе экспертных рекомендаций. Формирование базы и верификация лингвистических правил отображения комбинаций нечетких значений входов в значения выходов также формируется с использованием данных мониторинга.

В режиме прогнозирования в модель подается вектор, определяющий текущую ситуацию, который фазифицируется и передается на обработку

системе правил. Результаты нечеткого вывода дефазифицируются, в результате чего определяются значения вектора выходов. Существует несколько алгоритмов осуществления операции фазификации и заполнения базы знаний. Однако вопрос выбора формы ФП в литературных источниках практически не освещен. В качестве перспективного подхода к обоснованию выбора формы ФП планируется реализовать алгоритмы оценки скорости и ускорения (т.е. 1-й и 2-й производных) изменения значений параметров технологического процесса обогащения.

Разработка модели технологического процесса на основе использования нейросетей

Нейронные сети успешно применяются для синтеза систем управления динамическими объектами [5]. Нейросети обладают рядом свойств, которые определяют перспективность их использования в качестве аналитического аппарата систем управления. В контексте рассматриваемой задачи это, прежде всего, способность к обучению на примерах. Наличие больших объемов данных мониторинга, в которых представлены взаимосвязанные измерения и входов, и выходов исследуемой системы, позволяет обеспечить нейросеть репрезентативными обучающими выборками. Другими важными свойствами является способность нейросети адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, а также высокая устойчивость к «сбоям» отдельных элементов сети в силу изначально заложенного в ее архитектуру параллелизма. Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна «предсказать» будущие значения выходов на основе нескольких предыдущих значений и текущих данных мониторинга.

В рамках проводимых исследований наиболее перспективным представляется использование сетей встречного распространения. Сети данного типа имеют, в общем случае, существенно меньшее время обучения, чем сети обратного распространения. Поэтому такая сеть может более оперативно отреагировать на изменения условий протекания процесса обогащения, связанные с флуктуациями характеристик исходного сырья, технологических параметров или износом оборудования. В нейросети встречного распространения объединены два хорошо известных алгоритма: самоорганизующаяся карта Кохонена [6] и звезда Гроссберга [7]. Их объединение приводит к росту «обобщающих» способностей сети и позволяет получать правильный выход даже при неполных или незначительно искаженных входных данных.

Анализ возможностей использования нейронных сетей для создания моделей экспресс-анализа производственных процессов обогащения проводился на примере процесса флотационного обогащения апатито-нефелиновых руд, реализуемого на обогатительной фабрике АНОФ-2 ОАО «Апатит».

В результате анализа технологической схемы флотационного отделения, с учетом полученных ранее результатов исследования и уже принятыми в рамках данного проекта концептуальными принципами технологии моделирования производственных процессов обогащения минеральных руд была определена структура нейросетевой модели. Используемые в модели параметры

классифицированы на три группы: контрольные показатели, управляющие параметры и индикаторы. К контрольным показателям относятся характеристики входных и выходных продуктов технологической схемы. В модели рассматривается 15 контрольных параметров. К управляющим относятся те параметры, на которые можно воздействовать с целью изменения условий реализации обогатительного процесса и, как следствие, значений контрольных показателей. В качестве управляющих параметров в модели рассматривались уровни пульпы, расход воздуха и собирателя во флотомашинах ОК-38, а также уровень, расход воздуха в азратор и расход промывной воды в колонной флотомашине и др. Общее число задействованных в модели управляющих параметров - 30. К индикативным относятся те параметры, на которые нельзя повлиять, но которые свидетельствуют об изменениях контрольных показателей. К ним относятся: плотность слива, плотность пульпы в линии циркуляции, температура в пульподелителе, уровень рН в контактом чане и др. Всего рассматривалось 27 индикативных параметров.

На рис. 2 представлена структура сети встречного распространения в обобщенном виде.

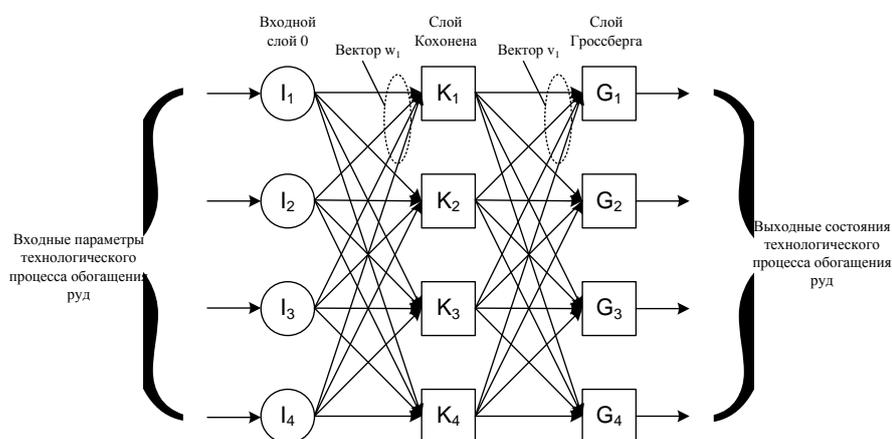


Рис. 2. Сеть с встречным распознаванием без обратных связей

Созданная модель представляет собой стандартную трехслойную (0÷2) нейросеть встречного распространения. Нейроны слоя 0 служат точками разветвления и не выполняют вычислений. Каждый нейрон 0-го слоя связан с каждым нейроном слоя 1 (слой Кохонена). Аналогично, нейроны слоя 1 связаны с нейронами слоя 2 (слоем Гроссберга). С каждой связью ассоциирован собственный вес. Веса w_i связей слоев 0 и 1 образуют матрицу весов W , а веса V_j связей нейронов слоев 1 и 2 – матрицу весов V . Настройка значений весов производится в режиме обучения сети, когда в модель подаются априорно известные вектора входов X и выходов Y (рис. 1). В режиме прогнозирования в модель подается формируемый на основе текущих данных мониторинга входной вектор X , а выходной вектор Y генерируется сетью.

Выход каждого нейрона слоя является просто суммой взвешенных входов. В результате сравнительной оценки взвешенных сумм входов нейронов Кохонена определяется «победитель» – нейрон, для которого это значение

максимально. Выходу данного нейрона присваивается значение «1», а выходам остальных нейронов слоя Кохонена – «0». Слой Гроссберга функционирует по аналогичной схеме – его выходы определяются взвешенной суммой соответствующих входов от слоя Кохонена. Но, так как только у одного нейрона слоя Кохонена на выходе устанавливается значение «1», то фактически каждый нейрон слоя Гроссберга лишь выдает величину веса, который связывает этот нейрон с единственным ненулевым нейроном Кохонена. По сути, слой Кохонена классифицирует входные векторы в сходные группы, обеспечивая, тем самым, определение областей многомерного пространства входов, отображающихся в малую окрестность одной и той же «точки» пространства выходов. Это достигается с помощью настройки весов слоя Кохонена, обеспечивающей активацию одного и того же нейрона данного слоя соответствующими векторами входов. Перед началом обучения всем весам сети присваиваются некоторые случайные значения. В процессе обучения весовые векторы изменяются, «отслеживая» небольшую группу входных векторов. Обучение заканчивается, когда на выходе нейросети формируется требуемая картина выходов. Обучение слоя Гроссберга осуществляется путем корректировки лишь тех весов, которые ассоциированы с нейроном Кохонена, имеющим ненулевой выход. Величина коррекции веса пропорциональна разности между весом и требуемым выходом нейрона Гроссберга, с которым он соединен.

Использование нейросетевой модели предполагает априорную классификацию состояний системы (обогачительного процесса) на конечное число вариантов. С каждым состоянием, при котором имеет место нарушение регламентных характеристик процесса, связан набор корректирующих воздействий, предполагающих конкретные изменения управляющих пара-метров. Для классификации могут быть использованы как экспертные оценки, так и формальные методы классификации из категории методов Data Mining, например – факторный и кластерный анализ. В качестве основного критерия классификации используются значения выходных векторов Y . Для определения текущего состояния процесса производится сравнение выхода нейросетевой модели и хранимых в информационной базе системы векторов, определяющих выделенные состояния обогачительного процесса. Если в базе указано, что идентифицированному состоянию соответствует нарушение регламентных характеристик, то система извлекает из базы рекомендации по корректировке состояния. При наличии соответствующего исполнительного механизма запуск на выполнение корректирующих воздействий может быть автоматизирован.

Разработанная нейросетевая модель процесса флотации была реализована и исследована в среде Matlab [8]. На рис. 3 показан общий вид нейросетевой модели, а на рис. 4 представлен фрагмент внутренней структуры элемента блока Custom Neural Network.

На вход каждого из элементов нейросети подаются все контролируемые входные параметры. Весовые коэффициенты подбирались в процессе автоматического обучения на заранее заданных выборках реальных данных, полученных SCADA-системой в результате мониторинга производственного процесса. В ходе серии вычислительных экспериментов модель была настроена и обеспечила синтез выходных векторов, соответствующих контрольной выборке данных реального производственного процесса.

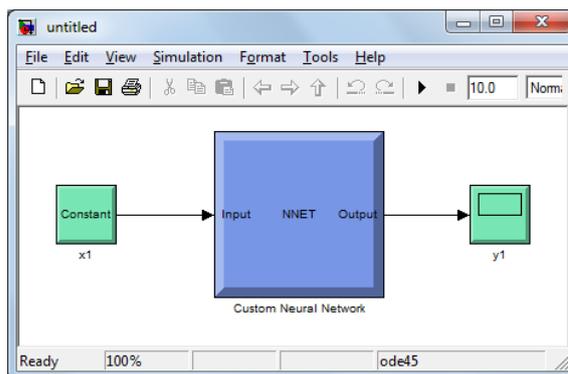


Рис. 3. Укрупненный вид нейросетевой модели в среде Matlab

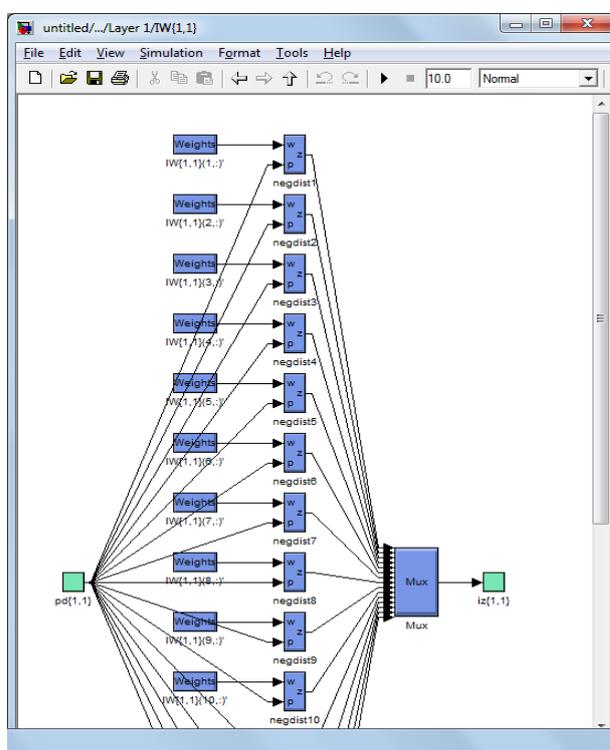


Рис. 4. Структура элемента блока Custom Neural Network

Заключение

Большие объемы данных, получаемые в результате функционирования SCADA-систем, обеспечивает возможность создания и практического применения моделей экспресс-анализа и прогнозирования производственных процессов обогащения минерального сырья. Принимая во внимание многомерность задач, гетерогенность параметров и наличие существенной неопределенности в зависимостях между параметрами реальных производственных процессов, для построения моделей предлагается использовать методы Data Mining, нечеткой логики и нейронных сетей. На основе указанных математических методов

созданы и протестированы на реальных данных мониторинга модели экспресс-анализа обогатительных схем, используемых на ОАО «Апатит». Доказано, что созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного управления производственными процессами. Наиболее рациональным для прогнозирования многостадийных обогатительных схем представляется вариант комбинированных решений, предполагающий совместное использование моделей различных типов для различных состояний обогатительного процесса или различных компонентов (аппаратов) обогатительной схемы.

Литература

1. Олейник, А.Г. Информационная технология поддержки оперативного управления процессами обогащения руд /А.Г. Олейник // *Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: сборник статей Четырнадцатой международной научно-практ. конф., 4-5 декабря 2012 г., г. С-Петербург / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2012. -Т.2. – С.84-86*
2. Олейник, А.Г. Схема оперативного прогнозирования производственных процессов обогащения руд / А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева // *Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - 4/2011(7). -Вып. 2. - С.211-219.*
3. Чубукова, И. А. Data Mining: учебное пособие /И.А. Чубукова. - 2-е изд., испр. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 382 с.
4. Тэрано, Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. - М.: Мир, 1993. - 368 с.
5. Чернодуб, А.Н. Обзор методов нейруправления / А.Н. Чернодуб, Д.А. Дзюба // *Проблемы программирования. -2011.-№ 2. - С.79 -94.*
6. Kohonen, T. Self-organization and associative memory /Т. Kohonen // 2d ed. -New-York, Springer-Verlag, 1988. - 312 p.
7. Grossberg, S. Some networks that can learn, remember and reproduce any number of complicated space-time patterns /S. Grossberg // *Journal of Mathematics and Mechanics, 1969. -Vol. 19, № 1, - P.53-91.*
8. MathWorks. - Режим доступа: <http://www.mathworks.com>

Сведения об авторах

Кириллов Иван Евгеньевич - к.т.н., младший научный сотрудник,
e-mail: kirilovi@rambler.ru

Ivan E. Kirillov - Ph. D. (Tech), Junior researcher

Морозов Иван Николаевич - к.т.н., младший научный сотрудник,
e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov - Ph. D. (Tech), Junior researcher

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института,
e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), Deputy director

УДК 004.942

Д.В. Рябов¹, А.В. Вицентий^{1,2}

¹ ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

² Кольский филиал ПетрГУ

АНАЛИЗ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ GPU TESLA C2050*

Аннотация

В работе представлены результаты исследования вычислительных возможностей систем на основе графических процессоров общего назначения. Рассматриваются методы и средства реализации алгоритмов, вычисляемых на графическом процессоре.

Ключевые слова:

моделирование, ресурсоемкость, графические процессоры, CUDA.

D.V. Ryabov, A.V. Vicentiy

EXPLORING COMPUTATIONAL CAPABILITIES OF GPU TESLA C2050

Abstract

In this paper the results of the systems based on general-purpose graphics processors computing capabilities research are presented. The calculated on the GPU algorithms methods and means of implementation are considered.

Key words:

modeling, resource-demand, graphical processor, CUDA.

Введение

На протяжении последних лет спрос на продукцию обогащения апатит-нефелиновых руд подвергается постоянному изменению под воздействием различных рыночных факторов. В современных условиях жесткой конкуренции на мировых рынках горно-обогатительные комбинаты стремятся постоянно совершенствовать технику и технологии переработки рудного сырья с получением товарной продукции требуемого качества и высокой рентабельностью [1]. Изучение обогатительных процессов в условиях реально действующих аппаратов затруднено по экономическим причинам, поэтому моделирование обогатительных процессов с целью их совершенствования - одна из приоритетных задач на сегодняшний день. При этом необходимо использовать компьютерные модели, более или менее адекватно отражающие макрокартину гидродинамических потоков в аппаратах. Решение задачи отчасти облегчается наличием компьютерных программ, позволяющих создавать модели разнообразных физических процессов в условиях реальной геометрии [1].

В основе большинства существующих инженерных методик расчетов компонентов и характеристик схем обогащения лежат упрощенные эмпирические модели гидродинамических явлений и процессов, опирающиеся на

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 12-07-98800 p_север_a «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

обширные данные теоретических, лабораторных и натуральных исследований. Недостатком моделей данного типа является сложность, а порой и невозможность адекватного учета влияния новых, не отработанных экспериментально конструктивных решений. Современный уровень развития технических и программных средств моделирования обеспечивает возможность практической реализации моделей более адекватно отражающих процессы разделения минеральных компонентов. В частности эффективным инструментом решения расчетных задач, связанных с гидродинамикой многофазных процессов, к которым относятся процессы разделения минеральных компонентов происходящих в обогатительных аппаратах, являются CAE (Computer-Aided Engineering) – системы и CFD-программы (Computational fluid dynamics), представляющие собой инструментальные средства вычислительной гидро-динамики [1].

В качестве математического аппарата для построения таких моделей используется аппарат многофазного многоскоростного континуума (ММК). Вычислительный эксперимент над CFD-моделями, основанными на ММК представлений движения вещества в разделительном аппарате, приближается по своим качествам к натурному эксперименту [2].

В результате проведенных исследований установлено, что модели обогатительных процессов и аппаратов, а также процедуры анализа больших объемов данных мониторинга обладают высокой вычислительной сложностью. На этапах разработки и исследования этих моделей и технологий возможно использование специализированных высокопроизводительных компьютеров. Но, так как разрабатываемая технология ориентирована на интеграцию средств прогнозирования процессов обогащения в действующие системы оперативного управления и мониторинга, в качестве аппаратной платформы при ее практической реализации предполагается использование рабочих станций на базе типовых персональных компьютеров. Добиться необходимой производительности в таком случае можно за счет использования многопоточных процессоров для универсальных высокопроизводительных вычислений. На основе предварительных оценок [3] в 2012 г. была выбрана и закуплена за счет средств гранта плата TCSC2050-PB на основе CUDA NVIDIA TESLA C2050 стоимостью 57001 руб. В 2013 г. проведены исследования по оценке соответствия заявленных производителем и фактических показателей производительности вычислительной системы на базе данного устройства. Также проведены сравнительные исследования производительности такой системы с производительностью систем, использующих только серийный центральный процессор.

Общая характеристика графических процессоров общего назначения

Графические процессоры изначально нацелены на решение узкого круга задач, связанного с компьютерной обработкой графических данных. В связи с этим архитектуры GPU и CPU существенно отличаются друг от друга. Так, к примеру, в видеочипах от NVIDIA основной блок представляет собою мульти-процессор с сотнями ядер, и несколькими тысячами регистров. Графические процессоры от NVIDIA так же оснащены несколькими видами памяти: локальная, разделяемая общая, константная, а так же глобальная память, доступная всем мультипроцессорам на чипе. Общая модель мультипроцессоров

NVIDIA CUDA представлена на рис. 1. Полное описание программной и аппаратной модели CUDA содержится в работе [4].

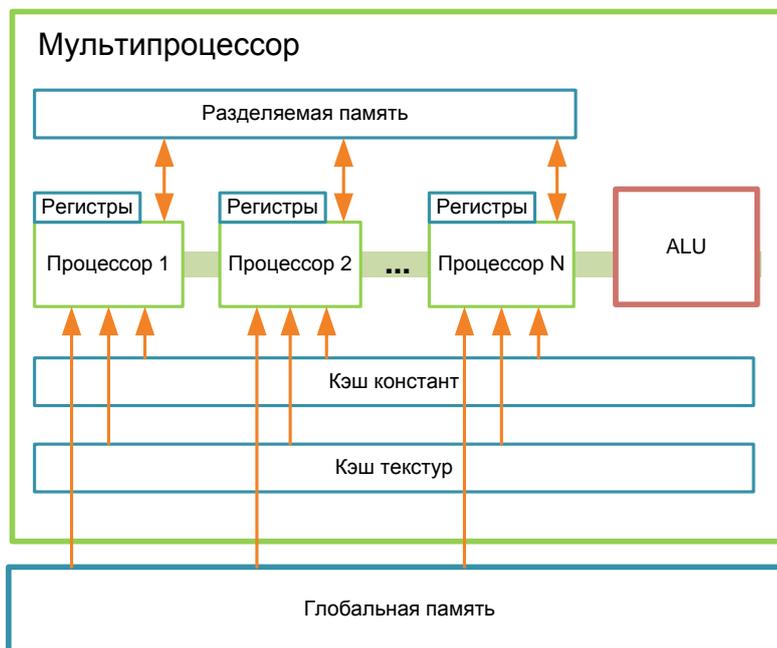


Рис. 1. Модель мультипроцессора CUDA

Обобщим основные отличия между архитектурами центрального и графического процессоров. CPU создан для последовательного исполнения одного потока инструкций с максимальной производительностью, а GPU спроектирован таким образом, чтобы одновременно исполнять как можно большее число параллельных потоков.

В итоге можно сказать, что в отличие от современных центральных процессоров, являющихся универсальными вычислительными устройствами, одинаково эффективно справляющимися с большинством задач, графические процессоры имеют куда более узкую направленность. GPU спроектирован таким образом, чтобы максимально эффективно решать задачу обработки множественных данных. И если в CPU разработчики были вынуждены пожертвовать производительностью ради достижения максимальной унифицированности, то в GPU значительно большее число транзисторов на чипе работает по прямому назначению – обработке массивов данных. Но небольшие блоки управления исполнением и кэш-памяти накладывают значительные ограничения на структуру алгоритмов исполняемых на GPU

Рассмотрим вычислительные ресурсы системы, которые будут использованы для исследований, представленных в данной работе. Основу аппаратной части составляет графический процессор для универсальных высокопроизводительных вычислений NVIDIA TESLA C2050 со специализированным программным обеспечением, центральный процессор Intel i3-2125 и оперативная память DDR3 объемом 4Gb. Подробно о характеристиках семейства сопроцессоров NVIDIA TESLA описано в статье [3].

Исследование методов и средств реализации алгоритмов, вычисляемых на графических процессорах общего назначения на языке программирования CUDA

В связи с кардинальными архитектурными отличиями центрального и графического процессора стоит задача исследования аппаратных ограничений реализуемых вычислительных алгоритмов на графических процессорах общего назначения, методов их реализации и возможность оптимизации с точки зрения производительности.

Для этих исследований был выбран алгоритм умножения матриц, который является одной из основных задач матричных вычислений. Данный алгоритм является массивно-параллельным и идеально подходит для исследования вычислительных способностей и методов программирования графических процессоров общего назначения.

При выполнении вычислительного эксперимента были реализованы следующие алгоритмы:

- параллельный алгоритм умножения матриц на GPGPU с использованием прямого доступа к глобальной памяти графического процессора;
- параллельный алгоритм умножения матриц на GPGPU с использованием кэширования данных средствами программируемой разделяемой памяти графического процессора;
- параллельные алгоритмы умножения матриц с использованием универсальных сторонних библиотек, реализующих вычисления на GPGPU.

При реализации вышеуказанных алгоритмов использовался язык программирования C++, C, CUDA в среде быстрой разработки приложений Visual Studio 2008 Express. Компиляция исходного кода для вычислений на графическом процессоре выполнялась средствами компилятора NVIDIA NVCC, входящим в состав NVIDIA CUDA SDK. Для сравнительного анализа времени выполнения алгоритмов на центральном и графическом процессорах использовалась технология OMP [5], а так же свободно распространяемые библиотеки BLAS и Eigen.

С помощью вышеуказанных алгоритмов были проведены следующие исследования:

- исследование влияния разбиения процесса вычисления на множество потоков и блоков ядра GPGPU на общую производительность графического процессора и время выполнения алгоритма;
- исследование влияния оптимизации алгоритмов с точки зрения производительности посредством использования разделяемой памяти GPGPU;
- исследование методов реализации алгоритмов на GPGPU и их влияние на время выполнения вычислений.

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

- архитектурные особенности графических процессоров общего назначения накладывают значительные ограничения на круг решаемых задач и методы реализации алгоритмов, вычисляемых на графическом процессоре;
- алгоритмы, реализующие вычисления на графических процессорах общего назначения, требуют оптимизации для получения наилучших результатов с точки зрения производительности;

- реализация алгоритмов, реализующих вычисления на графических процессорах общего назначения, требует глубоких знаний архитектуры графического процессора, на котором выполняются вычисления для получения наибольшего прироста производительности по сравнению с центральным процессором;

- экспериментально доказано преимущество с точки зрения производительности низкоуровневого программирования на языке CUDA над универсальными библиотеками, реализующими вычисления на GPGPU.

Исследование вычислительных способностей графических процессоров общего назначения в среде MatLab

В связи с тем, что реализация алгоритмов, вычисляемых на GPGPU, средствами языка программирования CUDA является трудоемким процессом и требует от программиста глубоких знаний как низкоуровневого программирования, так и архитектуры графического процессора, были проведены исследования вычислительных способностей систем на основе графических процессоров общего назначения в среде MatLab.

MatLab (сокращение от англ. «Matrix Laboratory») - пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете. MATLAB широко используется инженерными и научными работниками, позволяет абстрагироваться от программной реализации алгоритмов и сосредоточить внимание непосредственно на моделировании.

В связи с необходимостью использования параллельного выполнения алгоритмов среда MatLab позволяет выполнять параллельные вычисления, используя дополнение Parallel Computing Toolbox. Parallel Computing Toolbox позволяют использовать многоядерные процессоры, графические процессоры (GPU) и кластеры для выполнения вычислительно-сложных расчётов и расчётов с большими объёмами данных. Подробно о программном продукте MatLab и Parallel Computing Toolbox написано на сайте производителя [6].

Для исследований встроенных GPU функций MatLab были написаны функции, позволяющий сравнить производительность графического процессора NVIDIA TESLA C2050 с центральным процессором Intel i3-2125.

Реализованные функции в автоматическом режиме выполняют вычисления над числами с одинарной и двойной точности. Объем данных - максимально возможный из доступной оперативной памяти как центрального, так и графического процессоров. Сравнение проводилось по трем встроенным функциям, реализующим массивно-параллельные алгоритмы. А именно: умножение матриц, деление матриц и алгоритм БПФ (быстрое преобразование Фурье).

Результаты эксперимента показывают, что производительность графического процессора в среде MatLab резко уменьшается, по сравнению с алгоритмами, написанными на чистом языке CUDA, в то время как производительность центрального процессора практически не уменьшается. Данный эксперимент наглядно показывает, что среда MatLab, используя встроенные GPU функции, не позволяет достичь максимальной производительности графического процессора, обещанной производителем.

Вычислительный эксперимент, оценивающий производительность центрального и графического процессоров для задачи решения системы линейных уравнений, показал, что центральный процессор уступает графическому в производительности более чем в 2 раза. При этом производительность уменьшилась приблизительно в 5 раз относительно алгоритма умножения матриц и в 8 раз относительно максимальной, заявленной производителем графического процессора. Такое замедление, прежде всего, обусловлено тем, что данный алгоритм требует частого обращения к разным ячейкам данных (случайный доступ к оперативной памяти) тем самым замедляя работу арифметических операций графического процессора. При этом производительность центрального процессора осталась на одном и том же уровне. Гистограмма сравнения производительности графического и центрального процессоров, при выполнении задачи деления матриц в среде MatLab, представлена на рис. 2.

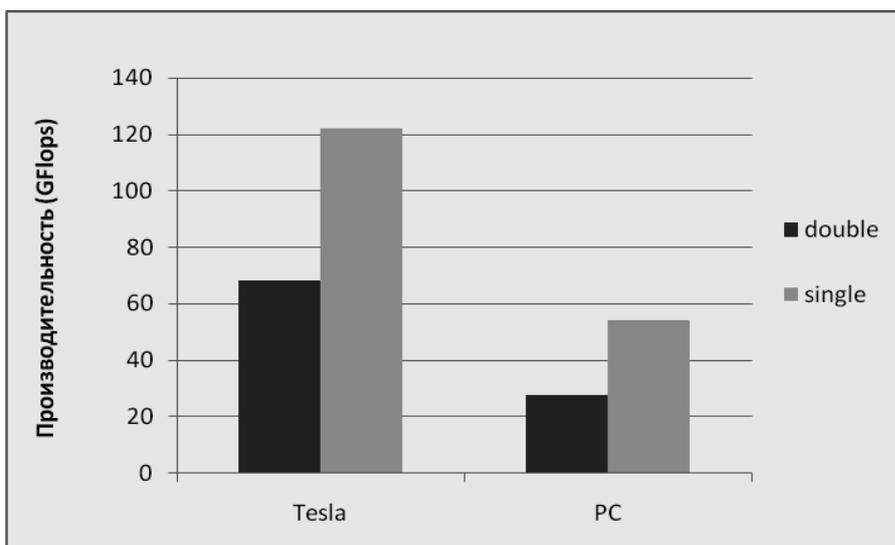


Рис. 2. Сравнение производительности CPU и GPU на примере задачи деления матриц

В табл. представлены результаты исследования производительности графического и центрального процессора при применении некоторых встроенных GPU функций MatLab R2012b.

Результаты исследования встроенных GPU функций MatLab R2012b

Процессор	Числа одинарной точности (ГФлопс)			Числа двойной точности (ГФлопс)		
	Mtimes	Backslash	FFT	Mtimes	Backslash	FFT
Графический	672,46	121,97	140,9	330,01	68,5	50,19
Центральный	66,04	54,22	4,73	30,27	27,59	2,05

Исследование методов реализации алгоритмов, вычисляемых на графическом процессоре в среде MatLab R2012b

MatLab R2012b позволяет выполнять алгоритмы на GPU четырьмя способами:

- использование встроенных GPU функций;
- использование интерфейса GPU array;
- выполнение пользовательских функций на элементах GPU array (функция `arrayfun`);
- вызов CUDA ядер непосредственно в MatLab (*.ptx объектных файлов).

Ранее рассматривались некоторые встроенные GPU функции MatLab, но для ряда задач таких функций попросту может не быть. Одной из таких задач является задача построения фрактала Мандельброта.

Так как алгоритм, решающий данную задачу, является массивно-параллельным и может быть реализован несколькими способами, появляется задача выбора метода реализации этого алгоритма в среде MatLab. В данном исследовании рассмотрены все возможные методы реализации алгоритма построения фрактала Мандельброта в среде Matlab и проведена оценка производительности и сложности каждого из методов.

Для сравнения производительности центрального и графического процессоров, был реализован алгоритм, выполняющий вычисления только на центральном процессоре. Простейшим методом преобразования данного алгоритма является хранение и вычисление множества Мандельброта на графическом процессоре. При этом алгоритм остается неоптимизированным с точки зрения параллельности, но при этом дает лучшие результаты, чем центральный процессор, что связано с более быстрым процессом выполнения простейших математических операций. В данном случае данные передаются на графический процессор посредством встроенной функции `gpuArray`. Преимуществом данного способа является минимальное изменение исходного кода, а недостатком является производительность, которая намного ниже, чем в других методах, рассмотренных далее.

Методом параллельной оптимизации алгоритмов в среде MatLab для графических процессоров является выполнение пользовательской функции над каждым элементом массива данных. Как и в предыдущем случае, данные передаются на графический процессор посредством функции `gpuArray`, а вычисления над каждым элементом выполняется функцией `arrayfun`, которая выполняет пользовательскую функцию, непосредственно выполняющую математические операции. Данный метод подразумевает значительное изменение вычислительно алгоритма и кода программы, но при этом дает большой выигрыш в производительности.

Третий способ оптимизации алгоритмов для графических процессоров является непосредственный вызов CUDA ядра из среды MatLab. При использовании данного метода первостепенным является написания CUDA ядра на языке программирования CUDA и его компиляция в объектный PTX файл средствами компилятора NVCC компании NVIDIA.

При использовании данного метода среда MatLab выполняет второстепенные задачи, такие как инициализация начальных условий, конфигурирование и вызов ядра, а так же графическое отображение полученного

множества Мандельброта. Данный метод является оптимальным с точки зрения производительности, но сложен в реализации, так как требует знаний языков программирования C и CUDA, знания аппаратно-программной технологии CUDA, а также знания архитектуры и особенностей графического процессора.

С помощью реализованных алгоритмов, описанных выше, был проведен эксперимент по построению фрактала Мандельброта различными методами. Размерность комплексной плоскости бралась 1000x1000 ячеек, максимальное количество итераций 500. Производительностью будем считать время построения множества Мандельброта. Результаты эксперимента приведены на рис. 3. На графике видно, что абсолютно все алгоритмы, реализованные для вычислений на графическом процессоре, имеют значительный выигрыш относительно вычислений выполняемых на CPU. При этом оптимизация алгоритмов для GPU является неотъемлемой для повышения производительности.

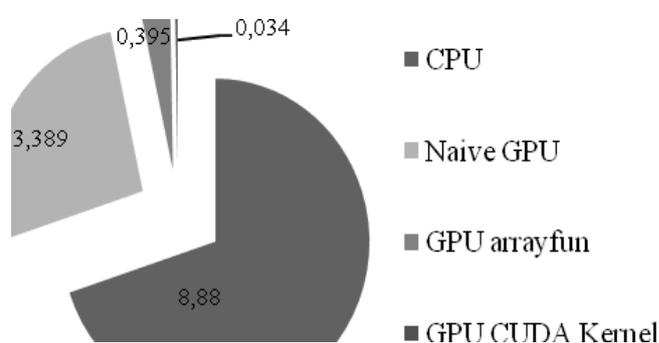


Рис. 3. Время (в сек.) построения фрактала Мандельброта различными методами

Заключение

В ходе проведенной работы были изучены существующие технологии программирования графического ускорителя, а так же проведен сравнительный анализ архитектуры центрального и графического процессоров. На основе проведенных исследований были сделаны выводы о целесообразности использования графического процессора для решения ряда задач общего назначения.

Реализация простейшего алгоритма умножения матриц с использованием технологии CUDA программирования графических процессоров общего назначения показала, что несмотря на более чем десятикратный выигрыш во времени исполнения алгоритма на GPU по сравнению с CPU, данный подход является нецелесообразным из-за больших временных затрат, связанных с подготовкой данных и получением результатов вычислений.

Проведенные исследования доказали важность оптимизации алгоритма умножения матриц и конфигурирования вычисляющего ядра графического процессора под каждую модель и архитектуру графического процессора общего назначения.

Реализация алгоритмов умножения матриц с использованием универсальных сторонних библиотек, выполняющих вычисления на графических процессорах, показала выигрыш во времени исполнения алгоритма на GPU по сравнению с CPU, но оказалась проигрышной по сравнению с алгоритмом, оптимизированным для модели GPGPU NVIDIA TESLA C2050 написанном на языке CUDA.

Технология программирования графических процессоров NVIDIA CUDA изначально проектировалась с целью предоставить разработчикам инструмент для программирования алгоритмов решающих задачи общего назначения на GPU. Реализация алгоритмов перемножения матриц показала, что использование данной технологии способно значительно сократить время их выполнения на входных данных больших размерностей.

Исследования вычислительных способностей систем на основе графических процессоров общего назначения в среде MatLab показали, что скорость выполнения алгоритмов напрямую зависит от метода обращения к вычисляемым данным, следствием чего является понижение производительности в задачах с произвольным доступом к памяти. Также экспериментально было доказано преимущество низкоуровневого программирования на языке CUDA над встроенными возможностями и функциями MatLab R2012b Parallel Computing Toolbox.

Литература

1. Бирюков, В.В. Применение системы Femlab для моделирования гидродинамики течений в обогатительных аппаратах / В.В. Бирюков, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России. – 2007. – № 3 (97). – С.30-32.
2. Разработка моделей разделительных аппаратов с использованием математического аппарата ММК / В.В. Бирюков и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 4/2012(11). – Вып.3. – С.124-133.
3. Вицентий, А.В. Ограничения данных при реализации процедур декларативных моделей прогнозирования параметров производственных процессов обогащения / А.В. Вицентий // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 4/2012(11). – Вып.3–С.134-140.
4. Nvidia Cuda Programming Guide / The Nvidia Corporation, 2008. -111 с.
5. OpenMP Architecture Review Board. –Режим доступа: <http://openmp.org/wp/>
6. Matlab The Language of Technical Computing.
– Режим доступа: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

Сведения об авторе

Рябов Дмитрий Валерьевич – аспирант, программист,

e-mail: ryabov@iimm.kolasc.net.ru

Dmitriy V. Ryabov - Post-graduate, Programmer

Вицентий Александр Владимирович - к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: alx_2003@mail.ru

Alexander V. Vicentiy - Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher

УДК 502.55

В.В. Бирюков, А.А. Петров

ФГБУН Горный институт Кольского научного центра РАН

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СОХРАНЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

Аннотация

Для информационного обеспечения комплекса исследований, проводимых при разработке технологических процессов сохранения и освоения рудных и техногенных месторождений, создана интегрированная информационная среда на основе, которой осуществляется моделирование исследуемых процессов с использованием программного комплекса MODSIM, позволяющего синтезировать топологии технологических схем переработки минерального сырья с возможностью минимизации технико-экономических затрат.

Ключевые слова:

минеральное сырье, переработка, информационная система, базы данных, технологическая схема, вычислительный эксперимент, моделирование процесса, обоганительное оборудование.

V.V. Birukov, A.A. Petrov

INFORMATION SUPPORT OF TECHNOLOGY PROCESSES DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION FOR ORE AND MAN-MADE DEPOSITS CONSERVATION AND DEVELOPMENT

Abstract

In order to provide information support of study complex carried out during technology development of conservation and exploitation of ore and man-made deposits there has been created an integrated information environment that serves as a basis for modeling of processes under study using software MODSIM. The software allows synthesizing of topology of mineral processing flow sheets with minimization of engineering and economical costs.

Key words:

mineral raw material, processing, information system, database, flow sheet, numerical experiment, process modeling, processing equipment.

Для обеспечения современного уровня рентабельности и экономической эффективности при освоении и эксплуатации минерально-сырьевой базы России решающее значение придается созданию энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья и решения экологических проблем при освоении месторождений полезных ископаемых.

С целью информационного сопровождения комплекса исследований по созданию технологий сохранения и переработки рудного и техногенного минерального сырья разработаны база данных вещественного состава минерального

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-07-98800-р_север_а «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

сырья предприятий Кольского ГПК и база данных технологических процессов сохранения и переработки минерального сырья. Базы данных интегрированы в информационную систему в соответствии с концептуальной моделью, определяющей взаимодействие структурных блоков формализованных данных (рис. 1.).

Основное функциональное назначение информационной системы - формирование единого информационного поля для хранения и обработки данных, получаемых от разных групп специалистов в ходе исследований и опытно-промышленных испытаний, проводимых с целью повышения эффективности добычи и переработки минерального сырья рудных и техногенных месторождений при снижении техногенной нагрузки на природную среду.



Рис. 1. Концептуальная модель информационной системы поддержки принятия решений при разработке технологий сохранения и переработки рудного и техногенного минерального сырья

В состав информационной системы включены также данные о техногенных месторождениях, по которым ведется контроль перераспределения полезных элементов в складированных отходах под влиянием разнообразных природных факторов, таких как окислительно-восстановительные процессы,

выщелачивание, фильтрационные электрические поля, плоскостной смыв и другое. Информация о наличии веществ различного класса опасности в сырье техногенных месторождений позволяет прогнозировать степень воздействия на природную среду и определяет технологии снижения этого воздействия.

На основе анализа информационной структуры классов объектов, выделенных в процессе изучения предметной области, разработаны инфологические модели баз данных, входящих в состав информационной системы. Для каждого класса объектов в инфологической модели определен набор атрибутов и создана таблица, заданы первичные и внешние ключи, на их основе установлены логические связи.

При проектировании инфологической модели базы данных вещественного состава минерального сырья предприятий Кольского ГПК были выделены следующие сущности (классы объектов предметной области):

- месторождение – общая информация о месторождениях представленных в базе данных;
- группа месторождений описывает первый уровень в иерархии классификационной модели месторождений;
- подгруппа месторождений обозначает второй уровень классификации месторождений;
- предприятие содержит информацию о предприятии, на балансе которого находится месторождение.

Минеральное сырье – основной объект модели, атрибутами этого объекта описываются все характеристики вещественного состава минерального сырья рудного или техногенного месторождения. Физико-механические свойства – описывает физико-механические свойства исследуемого минерального сырья; структурно-текстурные особенности – определяет структурно-текстурные характеристики минерального сырья, такие как форма и размер зерен, характер границ и срастаний зерен и т.д. Объекты модели: минералогический состав, химический состав и гранулометрический состав определяют основные характеристики вещественного состава минерального сырья. Объект технологическая карта описывает совокупность реализованных технологических процессов при сохранении и освоении минерального сырья рудных и техногенных месторождений.

Схема информационно-логической модели базы данных вещественного состава минерального сырья представлена на рис. 2.

Объекты «Группа месторождений», «Подгруппа месторождений» описывают классификационные признаки месторождений. Объект «Предприятие» определяет справочную информацию о месторождении. У минерального сырья может быть определен ряд характеристик, описанных n-м числом параметров, при этом каждый параметр регистрируется и строго привязывается к определенному типу минерального сырья конкретного месторождения. Классификация видов минерального сырья необходима для гибкого формирования запросов к базе данных, что позволяет более точно определять спектр необходимых данных при исследовании характеристик минерального сырья месторождения.



Рис. 2. Информационно-логическая модель базы данных вещественного состава минерального сырья предприятий Кольского ГПК

Проектирование информационно-логической модели базы данных технологических процессов (ТП) сохранения и переработки минерального сырья также проводилось с учетом знаний о предметной области (рис. 3.)



Рис. 3. Информационно-логическая модель базы данных технологических процессов сохранения и переработки минерального сырья

Реляционная структура базы данных вещественного состава минерального сырья предприятий Кольского ГПК характеризуется иерархической подчиненностью данных. На вершине иерархии находится таблица с регистрируемыми месторождениями. С ней взаимосвязаны таблицы с описательными и справочными данными, а также таблицы, определяющие группу и подгруппу месторождения.

Основываясь на классификационном делении параметров месторождений, в структуре базы данных созданы таблицы, определяющие классы параметров (гранулометрический состав, химический, физический составы и т.д.) и виды параметров минерального сырья. Каждый класс параметров содержит несколько видов. Например, класс химических параметров разделяется поэлементно на виды, которые представляются химическими элементами. Класс физических параметров характеризуется такими видами как морфология агрегатов, поверхностная активность и т.д. Все регистрируемые значения параметров хранятся в отдельных таблицах. Каждая такая таблица содержит значения параметров определенного класса, описывающих конкретный объект.

Информационным наполнением базы данных вещественного состава минерального сырья предприятий Кольского ГПК является:

- кадастровая информация, которая характеризует состав и свойства исходного сырья горнодобывающих, горноперерабатывающих, металлургических и других типов предприятий (горные породы, руда, концентраты и т.д.) и отходов промышленных производств (хвосты, шламы, шлаки и т.д.);

- данные о минералогическом, химическом и гранулометрическом составе минерального сырья, его физико-механических свойствах, структурно-текстурных особенностях;

- данные мониторинга, позволяющие выявить закономерности изменения во времени химико-минералогического и петрографического составов и физических свойств минерального сырья, степень химического выветривания складированного минерального сырья, распределение минеральных элементов по горизонтам, техногенную нагрузку на природную среду;

Реляционная структура взаимодействия информационных блоков системы позволяет решать задачи по систематизации получаемой информации об исследуемых объектах и анализу лимитирующих факторов, определяющих оптимальный выбор технологических режимов.

Получение новых данных в ходе мониторинга месторождений и изучения вещественного состава минерального сырья, внедрение новых технологических решений переработки минерального сырья обуславливают необходимость постоянного развития информационной системы. В контексте этого развития предполагается использование данных космического мониторинга, современных ГИС, экспертных систем на основе математических моделей исследуемых объектов.

Для моделирования технологических процессов выбрана программа MODSIM, позволяющая формировать технологическую цепь из набора моделей обогащительного оборудования, соединяемых материальными потоками, и рассчитывающая детальные массовые балансы. Работа данного программного комплекса основывается на дискретизации функций распределения исходного

сырья по крупности, плотности, магнитной восприимчивости, флотуемости и другим свойствам. Соответствующая информация содержится в базе данных вещественного состава минерального сырья предприятий Кольского ГПК.

В алгоритм программной среды MODSIM заложена библиотека модулей технологического оборудования и математический аппарат для моделирования работы дробильно-измельчительного, классифицирующего, флотационного и сепарационного оборудования. Идентификация моделей оборудования производится на основе разработанных баз данных существующего оборудования магнитного, гравитационного, флотационного обогащения.

Задание свойств исходной руды производится двумя способами:

1. По фракционным заданиям выходов и содержаний полезного компонента;
2. Использованием информации, полученной на современном аналитическом оборудовании, в том числе и на основе имидж - анализа.

Кроме пофракционного задания выходов и содержаний для корректной работы программы необходимо детальное описание физико-механических свойств, структурно-текстурных особенностей сростковых фракций.

Программа MODSIM генерирует и использует в своей работе модель распределения частиц по крупности на основе распределения Розина – Раммлера. Генерация данного распределения, а также расчет модели раскрытия компонента на основе бета – распределения производится при моделировании работы дробильно – измельчительного оборудования. Имеющийся в MODSIM набор моделей включает в себя модели стержневых и шаровых мельниц, использование которых с их индивидуальными настройками позволяет осуществлять идентификацию моделей с известным технологическим оборудованием. Настройки модели стержневой мельницы позволяют осуществить моделирование процесса, например, при износе загруженных стержней, изменении наклона мельницы, содержания твердого в пульпе.

Измельчение в шаровой мельнице рассчитывается на основе рассеивания энергии удара при фиксированных затратах энергии при загрузке железной руды определенных фракций с определенным энергопотреблением. В результате получено распределение по крупности частиц продукта на выходе из мельницы с учетом размера шаров, загрузки шаров, загрузки фракции продукта, добавления воды и скорости мельницы.

В программу MODSIM заложены различные модели классифицирующего оборудования, такие как модель гидроциклона “Плитта” и модели грохочения на просеивающих поверхностях.

Модели грохочения основываются на вероятностных и эмпирических моделях процессов с учетом изменения конструкции. В пределах данной модели можно видеть влияние конструкции лотка, размеров грохота и угла наклона, скорости питания, формы частиц, типа сетки грохота, формы отверстий, загрузки грохота, открытой поверхности грохота и режимов вибрации на эффективность грохочения.

В программе предусмотрено использование новых разработанных аппаратов, основанное на возможности включения в технологическую цепь аппарата “черный ящик”, программируемого пользователем.

Для интеграции в программу MODSIM используются пофракционные сепарационные характеристики модели аппарата в виде “черного ящика”. В FORTRAN – программе задается положение точки полуизвлечения фракции на сепарационной характеристике и угол наклона касательной, проведенной в этой точке.

Созданная имитационная модель цикла измельчения, позволяет исследовать работу технологической цепи предприятия в зависимости от изменяющегося гранулометрического и химического составов поступающей дробленой руды, ее влажности и расхода.

Результатом работы модели являются детальные:

- гранулометрические характеристики всех технологических продуктов;
- технологические характеристики потоков;
- характеристики работы каждой единицы оборудования.

При проведении вычислительного эксперимента также рассчитываются циркуляционные нагрузки; объемные расходы воды с учетом требуемых соотношений «твердое / жидкое»; плотности пульп сливов классификаторов;

С использованием программного комплекса MODSIM в настоящий момент созданы и исследуются типовые варианты моделей обогатительных схем для наполнения базы данных методов переработки минерального сырья.

Работа над типовыми вариантами осуществляется поэтапно. На первом этапе моделируется работа единичных аппаратов в зависимости от их регулируемых настроек и параметров исходного питания. Следующим этапом является объединение группы аппаратов с оптимальными настройками в постепенно наращиваемую линейно – циклическую технологическую схему обогащения данного вида минерального сырья.

Такой подход позволяет синтезировать в программной среде оптимальную топологию схемы переработки любого вида сырья с учетом всех технико-экономических показателей.

Таким образом, необходимым условием для синтеза топологий технологических схем переработки минерального сырья рудных и техногенных месторождений является обеспеченность информацией об исследуемых объектах. Эффективным инструментом для решения этих задач являются автоматизированные информационные системы. Информационная поддержка при разработке новых технологических решений обеспечивается базами данных с предметной актуализацией информации об исследуемых объектах.

Сведения об авторах

Бирюков Валерий Валентинович – научный сотрудник,

e-mail: birukov@goi.kolasc.net.ru

Valeriy V. Birukov – Researcher

Петров Алексей Александрович – ведущий программист,

e-mail: petrov@goi.kolasc.net.ru

Alexey A. Petrov – Leading software engineer

УДК 622.7:519.711.2

В.Ф. Скороходов¹, Р.М. Никитин¹, А.С. Степанникова¹, А.Г. Олейник²

¹ ФГБУН Горный институт КНЦ РАН,

² ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В ПРОДУКТАХ ОБОГАЩЕНИЯ НЕФЕЛИНОВОЙ ФЛОТАЦИИ*

Аннотация

В работе представлен подход к оценке флотационных свойств компонентов питания обратной нефелиновой флотации, позволяющий формулировать интегральные свойства фаз многоскоростного многофазного континуума (ММК) флотации в рамках вычислительного эксперимента, проводимого с CFD (Computational Fluid Dynamics) моделью гетерогенной системы процесса флотации (ГСПФ), адаптированной к эксплуатационным особенностям действующей флотационной техники.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, флотация, гидродинамика фаз гетерогенной системы, поверхностная энергия, многофазный многоскоростной континуум, CFD-метод.

V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.S. Stepannikova, A.G. Oleinik

USE OF ENGINEERING ANALYSIS TOOLS FOR STUDY OF DISTRIBUTION OF MINERALS IN THE CONCENTRATION PRODUCTS OF NEPHELINE FLOTATION

Abstract

The paper presents an approach to assess flotation properties of feed components for reserve nepheline flotation. The approach allows formulating integral properties of phases of multi-velocity and multi-phase flotation continuum within the computing experiment which is carried out by CFD (Computational Fluid Dynamics) model of heterogenic system of flotation process. The model is adapted to operational features of the acting flotation equipment.

Key words:

computer modelling, flotation, hydrodynamics of phases of heterogenic system, surface energy, multi-phase multi-velocity continuum, CFD-method.

Увеличение объемов добываемых полезных ископаемых сопровождается обеднением рудного сырья и усилением техногенной нагрузки на природу. Более полное и комплексное извлечение минералов и вовлечение в переработку техногенного сырья позволит смягчить воздействие деятельности человека на природную среду. Решение этой проблемы зависит от внедрения новых технологий переработки полезных ископаемых на основе создания новых образцов машин и аппаратов, используемых при добыче и обогащении минерального сырья. Создание нового обогатительного оборудования сегодня все в большей мере связано с применением в исследованиях разделительных

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-07-98800-р_север_а «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

процессов вычислительных программ, основанных на моделях многофазной гидродинамики. В основе моделирования процессов разделения минеральных компонентов лежит математический аппарат вычислительной гидродинамики. При разработке CFD моделей ключевым является выявление факторов, влияющих на эффективность моделируемых процессов.

В модели твердая фаза представлена множеством дисперсных псевдо фаз, физико-химические свойства которых определены в результате анализа пробы питания флотации. Геометрия модели, ограниченная контурами камеры, статора и импеллера флотационной машины ОК-38, используемой, в частности, в ОАО «Апатит» в цикле производства нефелинового концентрата, разработана в соответствии с конструкторской документацией компании Outokumpu в сеточном генераторе Gambit. Расчетная сетка модели предусматривает применение в ходе вычислительного эксперимента технологии движущихся сеток (Dynamic Mesh). Вычислительный эксперимент над моделью проведен в модуле Fluent программного комплекса ANSYS 14.5.

Магистральной фазой модели является среда со свойствами водного раствора ПАВ малой концентрации со значениями pH в соответствии с регламентом технологии получения нефелинового концентрата. Первой из вторичных псевдо фаз является дисперсная фаза, каждый элементарный объем которой обладает свойствами пузырька воздуха. Отнесение каждой твердой частицы к какой-либо вторичной псевдо фазе модели зависит от значения величин ее физических и химических свойств, определяющих ее положение в интервалах соответствующих статистических распределений [1]. Данные для формулировки условий однозначности модели были определены из состава питания флотации по результатам гранулометрического, химического и минералогического анализов пробы. Необходимой составляющей этих данных является оценка раскрытия полезного минерала в классах крупности частиц.

Определение твердых псевдо фаз модели основано на том, что их количество и состав в вычислительном эксперименте должны отвечать уровню ожидаемой достоверности, технической оснащенности и времени, отведенному на его проведение. Для постановки вычислительного эксперимента во входном потоке модели ГСПФ был определен ряд псевдо фаз (узких флотационных фракций), интегральные свойства которых отражают степень вхождения в них реальных минералов. Для каждой из псевдо фаз рассчитаны эффективные плотности и массовые доли элементов, представляющих промышленный интерес в производственном цикле ОАО «Апатит» – Al_2O_3 и P_2O_5 . Учитывая, что минералы, входящие в псевдо фазы модели, равновероятно формируют поверхности их частиц, оценены доли поверхности частиц, приходящиеся на каждый фазообразующий минерал. На основе данных, приведенных в [2], и полученных на основе методики расчета, приведенной в [3], определены энергетические константы ионов, входящих в структуры кристаллических решеток минералов, содержащихся в пробе питания нефелиновой флотации (табл. 1).

В табл. 2 приведены справочные и расчетные данные к оценке флотационных свойств компонентов пробы питания.

Расчеты проведены методом оценки поверхностной энергии минеральных зерен по установленной связи между ее величиной и значениями энергии взаимодействия ионов в кристаллической решетке минерала. Такой подход

основывается на геоэнергетической теории А.Е. Ферсмана [4] и работах В.В. Зуева и др. [5], посвященных кристаллоэнергетике.

Таблица 1

Энергетические константы ионов, входящих в структуры кристаллических решеток минералов, содержащихся в пробе питания нефелиновой флотации

Н	О	F	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Sr
0,32	1,55	0,37	0,45	2,15	4,95	8,60	14,40	0,36	1,75	8,40	2,12	5,15	1,58

Таблица 2

Справочные и расчетные* данные к оценке флотационных свойств компонентов пробы питания нефелиновой флотации

Минерал	Формула	U _μ	U _v	E _s ^{fs}	E _s ^{ls}
Нефелин	KNa ₃ [AlSiO ₄] ₄	86481	391	1,284	1,259
Эгирин	NaFe ³⁺ [Si ₂ O ₆]	34395	521	1,608	1,646
Полевой шпат	K[AlSi ₃ O ₈]	46621	445	1,418	1,425
Сфен	CaTi[SiO ₄]O	28395	507	1,573	1,609
Апатит	Ca ₅ [PO ₄] ₃ F	75991	498	1,549	1,583
Слюда	KMg ₃ [Si ₃ AlO ₁₀]·(OH) ₂	60861	430	1,379	1,377
Гидрослюды	Fe ²⁺ Fe ³⁺ Mg[Si ₃ AlO ₁₀]·(OH) ₂ ·4H ₂ O	73044	346	1,171	1,133
Ильменит	FeTiO ₃	16255	508	1,575	1,611
Лампрофиллит	Sr ₂ Na ₃ Ti ₃ [Si ₂ O ₇] ₂ O ₃ ·(OH)	98932	435	1,392	1,392
Цеолиты	Na ₂ [Al ₂ Si ₃ O ₁₀]·H ₂ O	58172	364	1,216	1,181
Титаномагнетит	Fe ²⁺ Fe ₂ ³⁺ O ₄ ·Fe ₂ ²⁺ TiO ₄	40138	445	1,416	1,423
Гидроокислы Fe	Fe ³⁺ O·(OH)	9183	440	1,404	1,408
Энигматит	Na ₂ Fe ₅ ²⁺ Ti[Si ₆ O ₁₈]O ₂	109829	483	1,512	1,541

*расчетные данные:

U_μ – молярная энергия связи кристаллической решетки минерала [кДж/моль];

U_v – объемная энергия связи кристаллической решетки минерала [кДж/см³];

E_s^{fs} – поверхностная энергия границы раздела воздух при нормальных условиях – твердое [Дж/м²];

E_s^{ls} – поверхностная энергия границы раздела жидкость при нормальных условиях – твердое [Дж/м²].

При построении модели разделительного процесса важно соблюдение условий реального производства. Основой расчета объемных характеристик модели явилась технологическая схема получения нефелинового концентрата в ОАО «Апатит» (рис. 1).

Исходя из количества камер двухкамерных машин ОК-38 в технологической цепочке нефелиновой флотации в ОАО «Апатит» и предположения о равной интенсивности процесса в каждой камере, получены базовые

параметры CFD модели ГСПФ в первой камере, необходимые для контроля над данными вычислительного эксперимента (рис. 2).

В модели определялись потоки массы псевдо фаз через поверхности ввода питания и выходов камерного и пенного продуктов, а так же объемное распределение псевдо фаз в расчетной области.

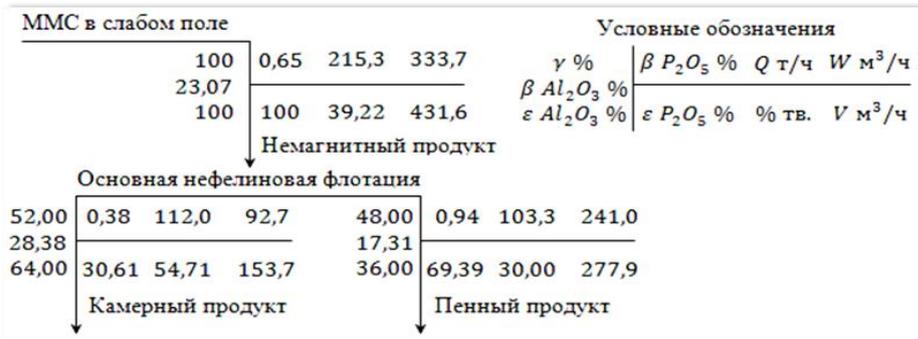


Рис. 1. Фрагмент технологической схемы получения нефелинового концентрата в пересчете на операцию нефелиновой флотации



Рис. 2. Базовые параметры CFD модели ГСПФ в первой камере технологической цепочки нефелиновой флотации

Получены поля скоростей ГСПФ в целом и каждой дисперсной фазы в отдельности. В объеме ГСПФ выявлены зоны гидродинамической активности, характеризующиеся образованием локальных турбулентных потоков, снижающих вероятность элементарных актов флотации, а также зоны, где гидродинамическая активность ГСПФ низка, что способствует образованию застойных областей с пониженной концентрацией газовой фазы. Тем самым получено представление о расположении зон, где установившиеся гидродинамические режимы в различной степени способствуют процессу флотации.

На рис. 3 представлены поля скоростей магистральной фазы и вторичной псевдо фазы, каждая частица которой обладает свойствами пузырька воздуха, в среднем сечении объема ГСПФ. На рис. 3, 4, 5 проекция модели выбрана таким образом, что направление движения внешнего потока питания слева направо, выход пенного продукта по внешней нормали от верхнего среза проекции, вращение импеллера правовинтовое.

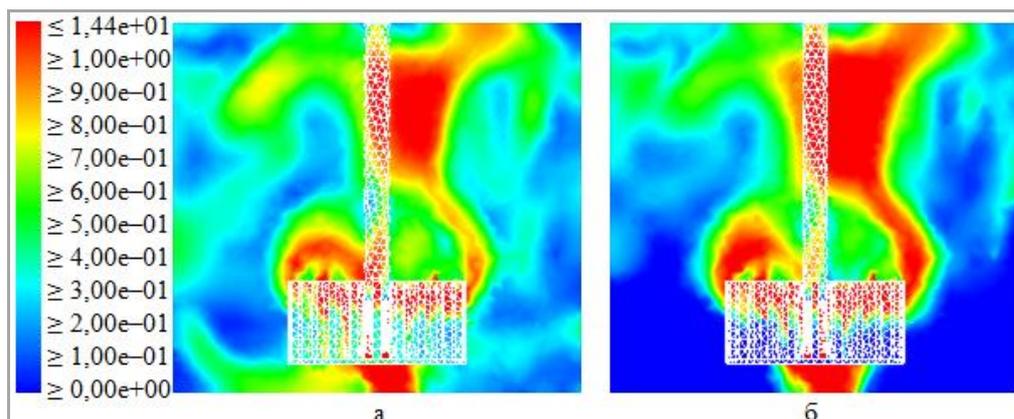


Рис. 3. Поля скоростей (магнитуда, м/с):
 а) магистральная; б) вторичная псевдо фаза, каждая частица которой обладает свойствами пузырька воздуха

Получены индикаторные распределения твердых псевдо фаз (рис. 4). Индикатором распределения является объемная доля псевдо фазы в потоке питания модели. Индикаторное распределение позволяет оценить характер положения фазы в ГСПФ по сравнению с распределением фазы в питании процесса, что выявляет тенденцию заполнения фазой рабочего объема флотационной камеры.

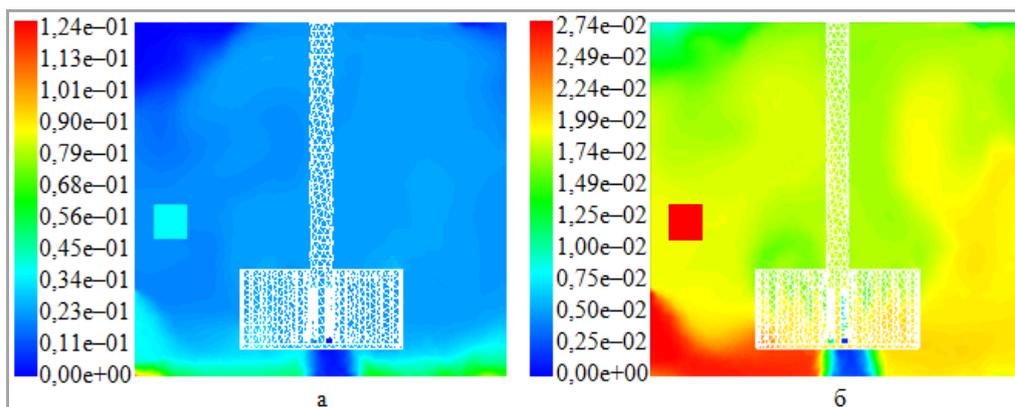


Рис. 4. Индикаторные распределения:
 а – гидрофильная псевдо фаза с объемным содержанием в потоке питания $3,63e-02$ и расходом $11,388$ кг/с;
 б – гидрофобная псевдо фаза с объемным содержанием в потоке питания $2,74e-02$ и расходом $10,849$ кг/с.

Получены средневзвешенные распределения концентраций твердых псевдо фаз (рис. 5). Центр распределения определен как среднее арифметическое суммы объемных долей твердых псевдо фаз модели, равное $4,18e-02$. Средневзвешенное распределение позволяет установить качественную и количественную прогнозные оценки формирования камерного и пенного продуктов.

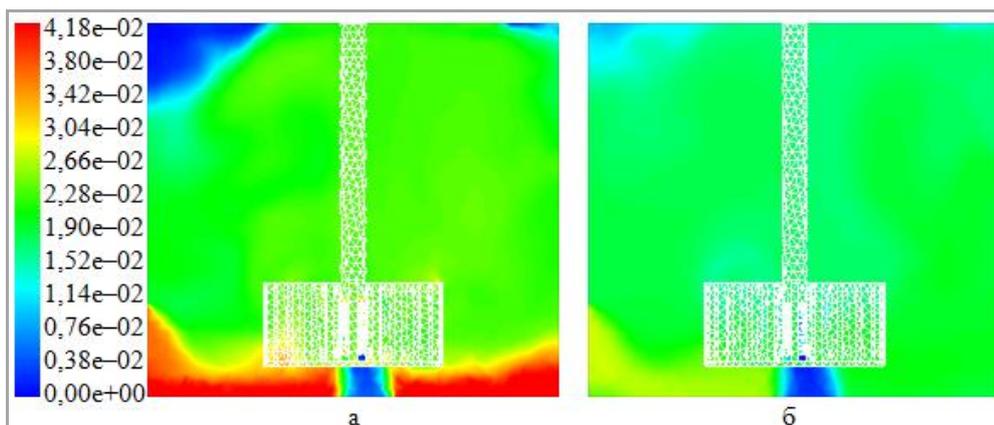


Рис. 5. Средневзвешенные распределения:
 а – гидрофильной псевдо фазы с объемным содержанием
 в модели ГСПФ $1,08e-01$;
 б – гидрофобной псевдо фазы с объемным содержанием
 в модели ГСПФ $2,74e-02$

Вычислительный эксперимент с CFD моделью ГСПФ, дает представление о гидродинамике системы, выявляет закономерности распределения концентраций и скоростей компонентов, позволяет оценить технологические параметры флотации. В табл. 3 и 4 приведены значения технологических параметров моделируемого процесса флотации, полученные в результате выполнения вычислительного. Столбцы «расчет» таблиц содержат значения параметров, соответствующие базовым параметрам CFD модели ГСПФ (рис. 2), а столбцы «результат» содержат значения поверхностных интегралов, взятых по поверхностям выходов камерного и пенного продуктов объема ГСПФ.

Кроме того, ANSYS Fluent позволяет получать интегрально-дифференциальные оценки физических и статистических параметров псевдо фаз в любой области исследуемой системы в каждый момент времени, как в графическом, так и в числовом виде. Результаты вычислительного эксперимента могут быть использованы для получения сепарационных характеристик как действующей, так и вновь создаваемой флотационной техники и обоснования оптимальных технологических параметров обогащения питания основной нефелиновой флотации. Использование вычислительного эксперимента для исследования ММК флотации позволяет избежать установки измерительных приборов и датчиков в рабочий объем камеры флотационной машины и при этом получать данные о процессе, минимизировав необходимые для проведения подобного физического эксперимента материальные и временные ресурсы.

Таблица 3

Выход камерного и пенного продуктов в модели

Параметр	Камерный продукт модели			Пенный продукт модели		
	Расчет	Результат	Δ	Расчет	Результат	Δ
Выход, γ	89,61%	89,71%	0,11%	10,39%	10,29%	-0,97%

Таблица 4

Содержание и извлечение Al_2O_3 и P_2O_5 в продуктах модели

Параметр	Al_2O_3			P_2O_5		
	Расчет	Результат	Δ	Расчет	Результат	Δ
Содержание в камерном продукте, $\beta_{кам}$	24,44%	24,61%	0,69%	0,52%	0,53%	0,95%
Извлечение в камерный продукт, $\epsilon_{кам}$	92,42%	93,19%	0,83%	84,31%	85,49%	1,38%
Содержание в пенном продукте, $\beta_{пен}$	17,29%	16,95%	-2,01%	0,83%	0,82%	-0,73%
Извлечение в пенный продукт, $\epsilon_{пен}$	7,85%	7,36%	-2,96%	15,69%	15,39%	-1,95%

Литература

1. Тихонов, О.Н. Теория сепарационных процессов: учебное пособие /О.Н. Тихонов. -Технический университет. –С-Пб., 2003. -Ч.1. -102 с.
2. Бокий, Г.Б. Кристаллохимия /Г.Б. Бокий. - М.: Недра, 1971. -401 с.
3. Рабинович, В.А. Краткий химический справочник /В.А. Рабинович, В.А. Хавин. - Л.: Химия, 1977. -392 с.
4. Ферсман, А.Е. Геохимия /А.Е. Ферсман. – М. - Л: ОНТИ, Химтеорет., 1936. -503 с.
5. Зуев, В.В. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов / В.В. Зуев, Л.Н. Поцелуева, Ю.Д. Гончаров. - С-Пб., 2006. -139 с.

Сведения об авторах

Скоруходов Владимир Федорович - д.т.н., заведующий лабораторией новых обогатительных процессов и аппаратов,

e-mail: skorohodov@goi.kolasc.net.ru

Vladimir F. Skorokhodov - Dr. of Sci. (Tech.), Head of laboratory

Никитин Роман Михайлович - ведущий технолог лаборатории

новых обогатительных процессов и аппаратов,

e-mail: remnik@yandex.ru

Roman M. Nikitin - Principal technologist

Степанникова Анна Сергеевна - аспирант, инженер лаборатории

новых обогатительных процессов и аппаратов,

e-mail: 1990nuta2008@rambler.ru

Ann S. Stepannicova - Post-graduate, Engineer

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института,

e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), Deputy director

В.В. Бирюков¹, А.Г. Олейник², А.С. Опалев¹, А.В. Щербаков³

¹ ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

² ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН

³ ОАО «Олкон»

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД НА ОАО «ОЛКОН» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Аннотация

В работе рассматривается использование имитационного моделирования для решения задач повышения эффективности обогащения железосодержащих руд на ОАО «Олкон». Модель технологической цепи дробильно-обогатительной фабрики реализована средствами программного комплекса MODSIM. Модель позволяет исследовать работу технологической схемы в зависимости от изменяющегося гранулометрического и химического состава поступающей дробленой руды, ее влажности и расхода.

Ключевые слова:

переработка минерального сырья, технологическая схема, имитационная модель, вычислительный эксперимент, оптимизация технологических параметров.

V.V. Birukov, A.G. Oleynik, A.S. Opalev, A.V. Sherbakov

UPGRADING OF TECHNOLOGY FOR IRON ORES CONCENTRATION ON JSC "OLCON" BY USING SIMULATION

Abstract

This paper discusses the using of simulation to problems solving in the field of the efficiency improve of iron ores dressing by JSC "Olcon". Model for technology line of crushing and processing plant is implemented by software package MODSIM. The model allows to study the work process flowsheet as a function of varying particle size and chemical composition of the incoming crushed ore, its flow and moisture.

Key words:

mineral raw material processing, flowsheet, simulation model, computer experiment, technological parameters optimization.

Введение

В настоящее время ОАО «Олкон» разрабатывает шесть железорудных месторождений открытым и одно подземным способами. Общий объем добываемой руды составляет более 15 миллионов в год, при этом по своим природным свойствам руды неоднородные, что обуславливает их различную дробимость, измельчаемость, обогатимость и приводит к резким колебаниям и снижению качественно-количественных показателей работы, как отдельных переделов, так и дробильно-обогатительной фабрики (ДОФ) в целом.

Анализ состояния минерально-сырьевой базы свидетельствует о том, что многолетняя интенсивная отработка высококоррентабельной приповерхностной

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-07-98800-р_север_а «Разработка моделей и информационной технологии прогнозирования параметров производственных процессов обогащения руд».

части большинства эксплуатируемых месторождений привела к их истощению. Разрабатываемые на большой глубине запасы бедных железных руд имеют низкую природную рентабельность. Постоянное снижение качества исходной руды обуславливает необходимость опережающего увеличения добычных мощностей предприятия. Объем добычи в последние десятилетия существенно превышает прирост запасов, в том числе по основным видам добываемого сырья. Содержание $Fe_{\text{общ.}}$ в руде в настоящий момент не превышает 25% (при проектировании предприятия оно составляло более 32%) [1].

Обогащение добываемых железных руд производится на ДОФ по магнитной и магнито-гравитационной схемам с получением железорудного концентрата с содержанием 65,7% $Fe_{\text{общ.}}$. Обогащительные секции для работы используют смесь руд различных месторождений, поступающую “с колес”, без использования склада усреднения. Схемы обогащения магнетитовых кварцитов, включающие в себя дробление, измельчение и магнитное и гравитационное обогащение не модернизировались с момента запуска предприятия.

Технологические решения в области модернизации схем обогащения

Применение технологических схем обогащения со стадийным выводом отвальных хвостов и получением готового концентрата в конечной стадии приводит к повышенным энергетическим затратам в операциях измельчения вследствие высоких циркуляционных нагрузок и значительному переизмельчению ценных компонентов. Анализ эффективности используемого оборудования показал, что наиболее узким местом является несовершенство работы классифицирующих аппаратов. Наиболее распространена классификация в гидроциклонах различных типов, но эффективность их работы не превышает 35-50% по готовому классу, что предопределяет увеличение фронта измельчения на 150-200% по сравнению с необходимым теоретически. Используя имеющийся положительный опыт применения операции тонкого грохочения на предприятиях ОАО «Карельский Окамыш», ОАО «Соколовско-Сорбайское ГПО и ОАО «Ковдорский ГОК», на ОАО «Олкон» внедрены в качестве классифицирующего оборудования аппараты «Stack SizerTM» фирмы Deric Corporation для операции тонкого грохочения как первый шаг по разработке энергоресурсосберегающей технологии.

В апреле 2012 года были смонтированы первые четыре грохота на технологической секции №9. Практически сразу были получены положительные результаты: за счет снижения циркуляционной нагрузки с 350÷400% до 150÷200% была остановлена одна из двух работающих на секции шаровых мельниц. Колебание качества вырабатываемого на секции концентрата было стабилизировано. Но для получения концентрата с требуемым содержанием железа на уровне 65,7% была снижена производительность секции по исходной руде с 220 тн/час до 185-195 тн/час. Кроме того, спустя несколько месяцев эксплуатации стало очевидным то, что достигнутый за счет вывода из работы одной шаровой мельницы экономический эффект полностью перекрывается затратами на полиуретановые просеивающие поверхности грохотов вследствие их интенсивного износа.

Для решения возникших технологических проблем было решено разработать компьютерную модель рассматриваемого производственного

процесса. Имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения задач оптимизации показателей технологических схем [2, 3]. С его помощью можно достаточно оперативно оценить эффективность технологических процессов в исследуемой системе и результативность выбранной технологической схемы, а также провести оценку экономической эффективности различных топологий технологических цепей с выбором оптимальной. Создаваемая модель должна обеспечить решение следующих задач:

- оптимизация водно-шламовых схем технологических секций главного корпуса фабрики;
- определение оптимальных типоразмеров просеивающих поверхностей в зависимости от требований к готовой продукции со стороны основных потребителей;
- определение путей увеличения срока службы просеивающих панелей;
- оптимизация технологических параметров циклов измельчения в стержневых и шаровых мельницах;
- повышения извлечения полезных компонентов за счет оптимизации параметров операции тонкого грохочения с применением современных методов компьютерного моделирования.

Имитационное моделирование процессов обогащения на ДОФ ОАО «Олкон»

Для реализации модели рассматриваемых технологических процессов и проведения вычислительных экспериментов была использована программа MODSIM [4]. Данный инструментарий позволяет формировать модель технологической цепи из набора моделей обогатительного оборудования, соединяемых материальными потоками, и обеспечивает возможность расчета детальных массовых балансов в различных точках моделируемой схемы. В алгоритм программной среды MODSIM заложен математический аппарат и модули модельного представления работы дробильно-измельчительного, классифицирующего и сепарационного оборудования. Для обеспечения возможности исследования нового (не имеющегося в базе инструментальной среды) технологического оборудования существует возможность включения в модель технологической цепи моделей аппаратов, программируемых пользователем [4, 5]. Если при моделировании предполагается использование созданных пользователем моделей аппаратов, то в соответствующие места изначально формируемой средствами MODSIM модели схемы обогащения включаются блоки, обладающие свойством «черного ящика». Для данных блоков в схеме задаются входы и выходы, а внутреннее содержание блока остается в исходной модели неопределенным. Затем каждый включенный в схему «черный ящик» связывается с внешней (определяемой пользователем) моделью, имитирующей его работу, т.е. задающий механизм преобразования определенных «черному ящику» входов в его выходы. В общем случае с каждым «черным ящиком» может быть ассоциировано некоторое множество моделей. Выбор конкретного экземпляра для подстановки определяется целями сеанса моделирования и исходными условиями вычислительного эксперимента. На этапе разработки технологии в «черные ящики», как правило, осуществляется подстановка различных моделей аппаратов, и оценивается их влияние на общую

эффективность схемы. При работе модели в контуре оперативного управления для подстановки могут использоваться как различные (по математическому базису) модели конкретного аппарата, так и одна и та же модель, но с различными априорно заданными параметрами. Второй вариант подстановки при использовании модели в контуре оперативного управления обеспечит сокращение времени на получение результатов за счет сокращения этапа настройки модели на текущие значения параметров технологического процесса.

С использованием MODSIM создана модель технологической схемы переработки железных руд на ДОФ ОАО «Олкон», включающие в себя измельчение в стержневой и шаровой мельницах, классификацию измельченного продукта с использованием оборудования для тонкого грохочения Deric «Stack Sizer™» и трехстадийную магнитную сепарацию с использованием барабанных магнитных сепараторов. Разработанная модель позволяет ускоренно исследовать сложные производственные ситуации и вырабатывать решения по устранению возникающих проблем, производить выбор рациональных режимов технологических процессов с выработкой оптимальных управляющих воздействий. На рис. 1 и 2 представлены технологическая схема 8-9 секций ДОФ ОАО «Олкон» и ее имитационная модель, разработанная в программе MODSIM [5].

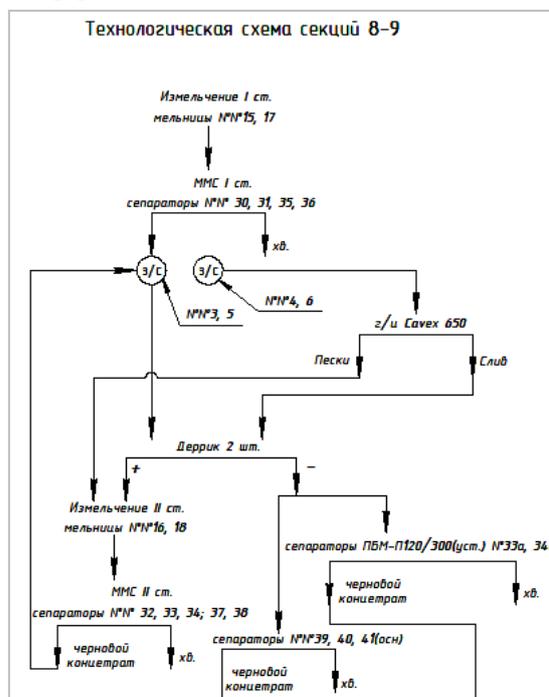


Рис. 1. Технологическая схема обогащения на ДОФ ОАО «Олкон»

Созданная математическая модель позволяет исследовать работу технологической схемы в зависимости от изменяющегося гранулометрического и химического состава поступающей дробленой руды, ее влажности и расхода [5]. Имеющиеся в базе MODSIM модели стержневых и шаровых мельниц в результате индивидуальной настройки были идентифицированы с техноло-

гическим оборудованием, установленным на ДОФ. Варьирование настроек модели стержневой мельницы позволяет осуществить в ходе вычислительного эксперимента анализ ее работы при износе загруженных стержней, изменении наклона мельницы, содержания твердого в пульпе и др. [6]. В результате использования математического аппарата распределения Розина-Раммлера и модели раскрытия полезного компонента в руде на основе свойств бета-распределения на выходе стержневой мельницы были получены детальные фракционный и сортовый составы пульпы.

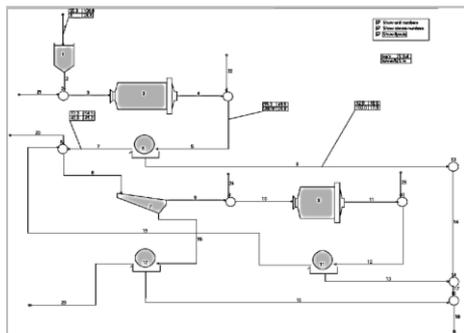


Рис. 2. Схема имитационной модели технологической цепи 8 и 9 секций ДОФ ОАО «Олкон»

Модели грохочения основываются на вероятностных и эмпирических моделях процессов с учетом изменения конструкции. В пределах данной модели оценивается влияние конструкции лотка, размеров грохота и угла наклона, скорости питания, формы частиц, типа сетки грохота, формы отверстий, загрузки грохота, открытой поверхности грохота и режимов вибрации. Разрабатывается методика учета влияния износа просеивающей поверхности на технологические показатели классификации с использованием тонкого грохочения.

Измельчение в шаровой мельнице рассчитывалось на основе рассеивания энергии удара при измельчении железной руды определенных фракций с определенным энергопотреблением. В результате было получено распределение по крупности частиц измельченного продукта с учетом размера шаров, их загрузки, удельной нагрузки по исходному питанию, расхода воды и числа оборотов барабана мельницы.

Таким образом, применение имитационного моделирования для модернизации технологических схем обогащения железных руд на ОАО «Олкон» позволит существенно сократить временные и материальные затраты на разработку и внедрение оптимального технологического процесса, отвечающего современным требованиям энергоресурсосбережения экологической безопасности.

Заключение

Прогностические возможности созданной компьютерной модели существенно превосходят возможности используемых до настоящего времени расчетов по эмпирическим формулам. Результаты моделирования показали, что оперативное регулирование динамики производственных процессов обогащения магнетитовых руд на ДОФ ОАО «Олкон» может осуществляться за счет варьирования следующих параметров:

- массовых расходов исходной руды, подаваемой на сухую магнитную сепарацию и в мельницы первой стадии (с учетом циркуляционных нагрузок);
- объемных расходов воды в мельницы первых стадий с учетом требуемых соотношений «твердое/жидкое»;
- плотностей пульп сливов спиральных классификаторов;
- уровней пульп в технологических зумпфах;
- давлений потоков пульп на входе в гидроциклоны;
- уровней магнетита в дешламаторах.

Расчет на модели позволяет определять комбинации значений управляющих параметров, обеспечивающие наиболее эффективный режим протекания обогащения при заданных условиях и ограничениях.

Литература

1. Опалев, А.С. Стадиальное выделение магнетитового концентрата при обогащении железистых кварцитов на ОАО «ОЛКОН» / А.С. Опалев, В.В. Бирюков, А.В. Щербаков // Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения 2013): мат. Международного совещания. г. Томск, 16-19 сентября 2013 г. - Томск. -С.258-261.
2. Шупов, Л.П. Моделирование и расчёт на ЭВМ схем обогащения./ Л.П. Шупов. - М.: Недра, 1980. - 288с.
3. King R.P. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems / R.P. King, Edited by C.L. Schneider and E.A. King. Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2012. - 492 p.
4. Modular Simulator for Mineral Processing Plants.
- Режим доступа: <http://www.mineraltech.com/Modsim/>
5. Опалев, А.С. Моделирование технологических схем обогащения железистых кварцитов с использованием современных программных средств /А.С. Опалев, В.В. Бирюков // Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения 2013): мат. Международного совещания. г. Томск, 16-19 сентября 2013 г. - Томск. –С.354-357.
6. Austin, L.G, Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling / L.G. Austin, R.R. Klimpel, P.T. Luckie - SME 1984. - 123 p.

Сведения об авторах

Бирюков Валерий Валентинович - научный сотрудник,
e-mail: birukov@goi.kolasc.net.ru
Valeri V. Birukov – Researcher

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института,
e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru
Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), Deputy director

Опалев Александр Сергеевич – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: opalevAS@rambler.ru
Alexander S. Opalev – Ph.D. (Tech. Sci.), Senior researcher

Щербаков Алексей Владимирович – директор ДОФ ОАО «Олкон»,
e-mail: avscherbakov@olcon.ru
Aleksey V. Sherbakov – Director of dressing of JSC «Olcon»

УДК 004.94

А.А. Туз¹, В.Н. Богатиков^{2,3}

¹ Ковдорский ГОК

² Мурманский государственный технический университет

³ Кольский филиал ПетрГУ

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В АГРЕГАТЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ОАО «КОВДОРСКИЙ ГОК» С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Аннотация

В статье рассматривается моделирование технологического процесса измельчения. Комбинированная кинетическая модель процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице с открытым циклом. Возможность использования нейро-фаззи сетей для эффективного управления технологическим процессом.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, кинетика, смешение, измельчение, классификация, месторождения многокомпонентных руд, бадделеит-апатит-магнетитовые руды, оценка состояния, нейросети.

V.N.Bogatikov, A.A.Tuz

BUILDING A MODEL OF GRINDING IN UNIT OF CONTINUOUS ACTION WITH THE CLOSED CYCLE IN JSC "KOVDORSKY GOK" WITH USING NEURAL NETWORK MODELS

Abstract

The article consider modeling of technological grinding process. Research of factors defining productivity of grinding process. The possibility of using neuro-fuzzy networks for effective process control.

Key words:

computer modeling, kinetics, mixing, grinding, classification, multi-ore deposits, baddeleyite-apatite-magnetite ore, evaluation, neural network.

Введение

В связи с дефицитом и высокими ценами фосфатного сырья на внутреннем и внешнем рынке руководством МХК «ЕвроХим» была поставлена задача и разработана программа обеспечения заводов компании фосфатами собственного производства, главным образом за счет увеличения объемов выпуска апатитового концентрата Ковдорским ГОКом до 3 млн. т к 2015 г. [1].

Совершенствование производства ведется по трем основным направлениям:

1. Эксплуатационно-технологическое направление. Изыскание новых методов добычи, рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых. Сюда можно отнести совершенствование регламентов технологических процессов и совершенствование технологического оборудования.

2. Проектно-конструкторское направление. Создание нового более мощного и прогрессивного оборудования. Модернизация и реконструкция производства; повышение качества изготовления деталей и узлов установленного оборудования.

3. Автоматизация производства.

Одно из главных требований, предъявляемых к процессу измельчения – максимальная производительность измельчительных агрегатов [2]. По опубликованным данным [2], 90-95% всех расходов на измельчение зависят от производительности мельниц. Эти расходы изменяются обратно пропорционально изменению производительности мельниц.

Существенной особенностью большого класса современных технологических процессов является наличие неопределенности параметров их функционирования как статистической, так и нестатистической природы, которая объясняется отсутствием или неполнотой знаний о физико-химических параметрах процесса, широким спектром различных возмущающих и управляющих воздействий, присутствующих в реальных производственных системах и сложным характером их влияния.

Описание технологического процесса подготовки питания флотации

Технологический процесс мельнично-гидроциклонного передела апатито-бадделеитовой фабрики (АБОФ) ОАО Ковдорский ГОК, заключается в следующем. Хвосты магнито-обогащительной фабрики (МОФ) крупностью 30% кл. -0,074 мм. насосами подаются на АБОФ, где сгущаются в гидроциклонах. Слив последних обесшламливается в обезвоживающих гидроциклонах, а крупная часть песков доизмельчается до -0,3 мм. в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с классифицирующим гидроциклоном. Операция измельчения также несет в себе свойство обновления поверхности минеральных зерен [3]. Готовый по крупности материал с 25% твердого поступает в радиальный сгуститель, из которого в слив удаляются шламы. Сгущенный продукт с 50-53% твердого направляется на флотацию апатита в механических аппаратах. В результате основной флотации, двух контрольных флотаций и перечисток получают апатитовый концентрат с 37-38% P_2O_5 [4].

Технология мокрого измельчения в агрегате непрерывного действия с замкнутым циклом

Агрегат мокрого измельчения с замкнутым циклом представляет собой систему взаимосвязанных технологических аппаратов. Схема технологического процесса измельчения в таком агрегате представлена на рис. 1.

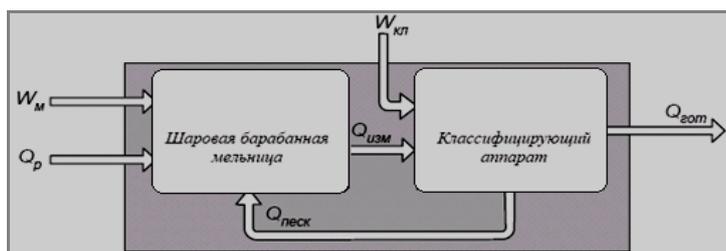


Рис. 1. Схема технологического процесса измельчения в агрегате мокрого измельчения с замкнутым циклом

Хвосты МОФ, поступающие в процесс доизмельчения, имеют различный минералогический состав: процентное содержание основных минералов и

примесей. Минералы, входящие в состав хвостов, обладают различными физико-механическими свойствами: крепость; прочность на сжатие и растяжение; упругость и т.д.

Хвосты МОФ также характеризуются гранулометрическим составом – содержанием различных классов крупности частиц. Количество классов крупности – условное.

Рассмотрим процесс измельчения рудных материалов, происходящий в агрегате непрерывного действия. Внутри барабана непрерывно подается измельчаемый материал, который проходит вдоль него и, подвергаясь воздействию дробящих тел, измельчается ударом, истиранием и раздавливанием. Измельченный продукт непрерывно разгружается.

Выходной продукт мельницы поступает в классифицирующий аппарат, где происходит разделение материала по крупности: песковая фракция $Q_{\text{песк}}$; готовый продукт измельчения $Q_{\text{гот}}$ (рис. 2).

Песковая фракция поступает обратно в процесс измельчения, образуя циркулирующую нагрузку мельницы. Готовый продукт измельчения поступает в технологические процессы обогащения (флотация).

Для повышения эффективности работы классифицирующего оборудования в процесс классификации подается вода.

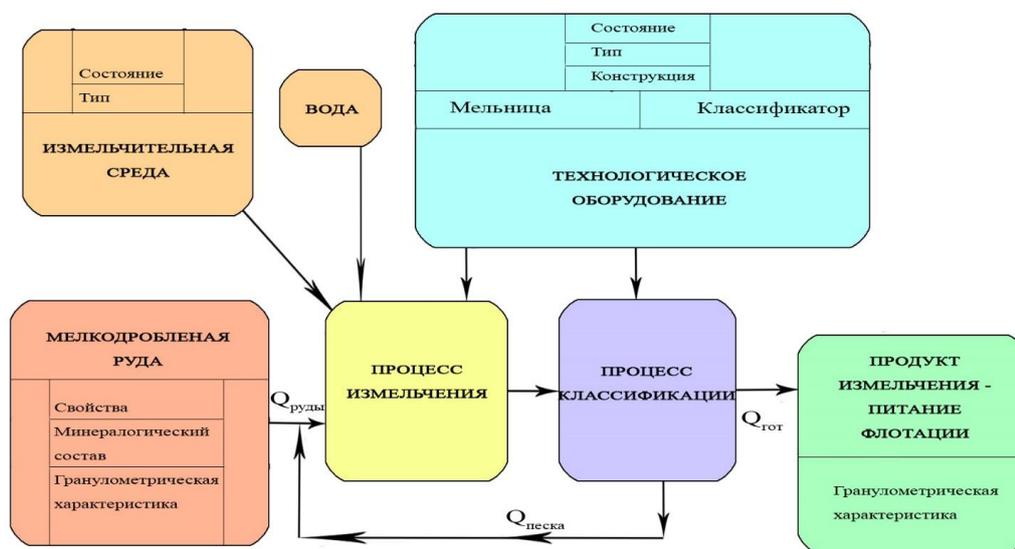


Рис. 2. Обобщенная технология измельчения

Обобщенная постановка задачи

Совершенствование процессов обогащения и создание наиболее эффективного оборудования возможно при решении вопросов автоматизации.

Основную цель автоматизации управления технологическими процессами обогащения, можно сформулировать следующим образом:

Обеспечение максимального извлечения полезного компонента и выпуска готовой продукции производства при заданном значении по качеству и ограничениях на трудовые, энергетические и материальные ресурсы.

В этих условиях критерием экономической эффективности принимается, как правило, прибыль.

Применительно к апатитобадделеитовой обогатительной фабрике Ковдорского ГОКа качественными показателями апатитового концентрата являются:

$\beta_{\kappa}^{P_2O_5}$ – содержание ценного компонента (P_2O_5) в концентрате;

$\beta_{\kappa}^{+0,16}$ – содержание класса крупности +0,16 мм в концентрате.

Содержание полезного компонента в концентрате $\beta_{\kappa}^{P_2O_5}$ зависит от суммарного содержания апатита и от технологического извлечения полезного компонента (P_2O_5) в концентрат ε в процессе обогащения.

Определенную роль в технологии измельчения играет фактическая удельная производительность мельниц $q_{0,16}^{факт}$, которая в своем приближении к $q_{0,16}^{max}$ зависит от способа управления процессом измельчения (ручной, автоматический) при оптимальном наполнении мельницы шарами заданного ассортимента и регламентном состоянии оборудования.

Система оценки параметров модели процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице на основе нейро-фаззи сети

Постановка задачи

В соответствии с поставленной задачей моделирования математическая модель процесса измельчения должна прогнозировать гранулометрический состав измельченного материала с учетом изменений его физико-механических свойств, а также состояния измельчительной среды.

Изменение физико-механических свойств перерабатываемого материала и состояния измельчительной среды приводит к изменению параметров модели.

Так коэффициенты b_{ij} в системе уравнений, определяющие функцию разрушения материала, зависят только от физико-механических свойств материала, которые в свою очередь определяются минералогическим составом рудного материала; коэффициенты S_i , определяющие функцию отбора материала, зависят как от свойств измельчаемого материала, так и от состояния шаровой загрузки.

Задачей, решаемой системой оценки параметров модели процесса измельчения, является прогнозирование функций отбора и разрушения измельчаемого рудного материала.

Нейро-фаззи сетевой метод оценки параметров модели

Определение функций разрушения и отбора материала является весьма сложной задачей. Аналитические зависимости для функций разрушения и отбора, требуют большого количества априорной информации, для получения которой необходимо проведение дополнительных исследований.

Для аппроксимации зависимости функции разрушения материала от его минералогического состава предлагается использовать аппарат нейро-фаззи сетей (НФС), в котором выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики,

но соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей [4, 5].

Для прогнозирования функции отбора материала предлагается также использовать аппарат нейро-фаззи сетей.

Комбинированная кинетическая модель процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице с открытым циклом

Технологический процесс сокращения крупности материала в шаровой барабанной мельнице может быть представлен моделью идеального перемешивания [3]. При этом материальный баланс может быть представлен, как показано на рис. 3.

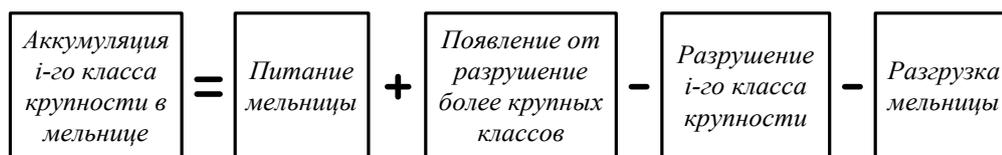


Рис. 3. Материальный баланс мельницы идеального перемешивания

Тогда дифференциальное уравнение, выражающее материальный баланс i -го класса крупности имеет вид:

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{f_i}{\tau} - s_i \omega_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j \omega_j - \frac{\omega_i}{\tau} \quad (1)$$

где ω_i – массовая доля i -го класса крупности, находящегося в мельнице;

f_i – массовая доля i -го класса крупности на входе (в питании) мельницы;

τ – время пребывания материала в мельнице;

b_{ij} – коэффициенты, определяющие функцию разрушения материала;

s_i, s_j – коэффициенты, определяющие функцию отбора материала;

При условии установившегося процесса уравнение материального баланса примет вид:

$$\frac{f_i}{\tau} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j \omega_j = s_i \omega_i + \frac{\omega_i}{\tau} \quad (2)$$

В уравнении (1) можно от массовых долей ω_i перейти непосредственно к массам m_i материала i -го класса крупности, находящегося в мель-

$$\omega_i = \frac{m_i}{\sum_i m_i}$$

нице, исходя из того, что

$$\sum_i m_i = const$$

, согласно закону сохранения массы

Тогда уравнение (1) запишется в виде:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{f_i}{\tau} - s_i m_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_j - \frac{m_i}{\tau} \quad (3)$$

Кинетическое уравнение (1) и (3) предполагает, что время пребывания частиц различных классов крупности одинаково. В действительности всегда имеется некоторый разброс частиц по времени пребывания в мельнице. Этот разброс определяется перемешиванием и характеризуется функцией $E(t)$, называемой функцией распределения по времени пребывания или иначе функцией РВП:

$$E(t) = \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

где dP – вероятность того, что время пребывания частицы в аппарате лежит в интервале от t до dt .

Функция РВП может быть интерпретирована как зависимость концентрации трассера (некоторым образом меченных недробимых частиц) при его импульсном вводе на вход аппарата.

Разнообразие характеристик потока в реальных системах можно воспроизвести варьированием числа используемых зон идеального перемешивания и степени перемешивания между смежными зонами.

Учесть различное время пребывания частиц удастся, применив представление потока через мельницу в виде каскадных смесителей. Причем в большинстве случаев достаточно трех смесителей (А, В, С) в каскаде, если принять время пребывания в каждом смесителе соответственно равным:

$$\begin{aligned} \tau_A &= 0.15 \cdot \tau \\ \tau_B &= 0.15 \cdot \tau \\ \tau_C &= 0.70 \cdot \tau \end{aligned} \quad (5)$$

где τ – общее время пребывания материала в мельнице.

На рис. 4 процесс измельчения представлен каскадом из трех смесителей (А, В, С). Поток частиц i -ой фракции (класса) крупности исходного материала q_{Fi} поступает на вход смесителя А. Поток разгружаемого из смесителя А материала является входным потоком q_{FVi} смесителя В, и, аналогично, поток разгружаемого из смесителя В материала является входным потоком q_{FCi} смесителя С. Каждый смеситель содержит запас (массу) материала m_{iA}, m_{iB}, m_{iC} , который подвергается измельчению.

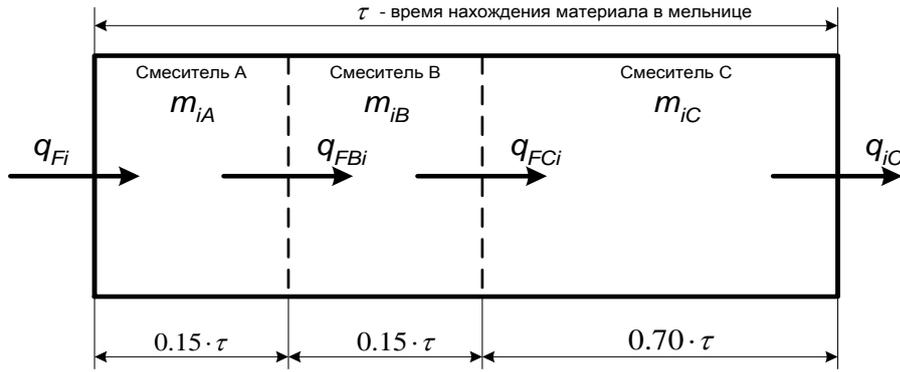


Рис. 4. Каскадное представление процесса измельчения

С учетом выше изложенного кинетическое уравнение (3) для трех смесителей запишется в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dm_{iA}}{dt} &= \frac{f_{iA}}{\tau_A} - s_i m_{iA} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jA} - \frac{m_{iA}}{\tau_A} \\ \frac{dm_{iB}}{dt} &= \frac{f_{iB}}{\tau_B} - s_i m_{iB} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jB} - \frac{m_{iB}}{\tau_B} \\ \frac{dm_{iC}}{dt} &= \frac{f_{iC}}{\tau_C} - s_i m_{iC} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jC} - \frac{m_{iC}}{\tau_C}, \end{aligned} \quad (6)$$

где m_{iA}, m_{iB}, m_{iC} – масса i -ой фракции (класса) крупности, находящегося соответственно в смесителе A, B, C .

f_{iA}, f_{iB}, f_{iC} – масса i -ой фракции (класса) крупности на входе в соответственно в смесители A, B, C ;

τ_A, τ_B, τ_C – время пребывания в данном смесителе;

При разбиении входного потока измельчаемого материала на n классов крупности, например, для смесителя A получим систему из n уравнений (7), при этом предполагается, что разрушение самого мелкого n -го класса крупности не происходит.

$$\begin{aligned} \frac{dm_{1A}}{dt} &= \frac{f_{1A}}{\tau_A} - s_1 m_{1A} - \frac{m_{1A}}{\tau_A} \\ \frac{dm_{2A}}{dt} &= \frac{f_{2A}}{\tau_A} + b_{21} s_1 m_{1A} - s_2 m_{2A} - \frac{m_{2A}}{\tau_A} \\ \frac{dm_{(n-1)A}}{dt} &= \frac{f_{(n-1)A}}{\tau_A} + b_{(n-1)1} s_1 m_{1A} + \dots + b_{(n-1)(n-2)} s_{(n-2)} m_{(n-2)A} - s_{(n-1)} m_{(n-1)A} - \frac{m_{(n-1)A}}{\tau_A} \\ \frac{dm_{nA}}{dt} &= \frac{f_{nA}}{\tau_A} + b_{n1} s_1 m_{1A} + \dots + b_{n(n-1)} s_{(n-1)} m_{(n-1)A} - \frac{m_{nA}}{\tau_A}. \end{aligned} \quad (7)$$

Структурная схема модели системы дифференциальных уравнений (7) представлена на рис. 5.

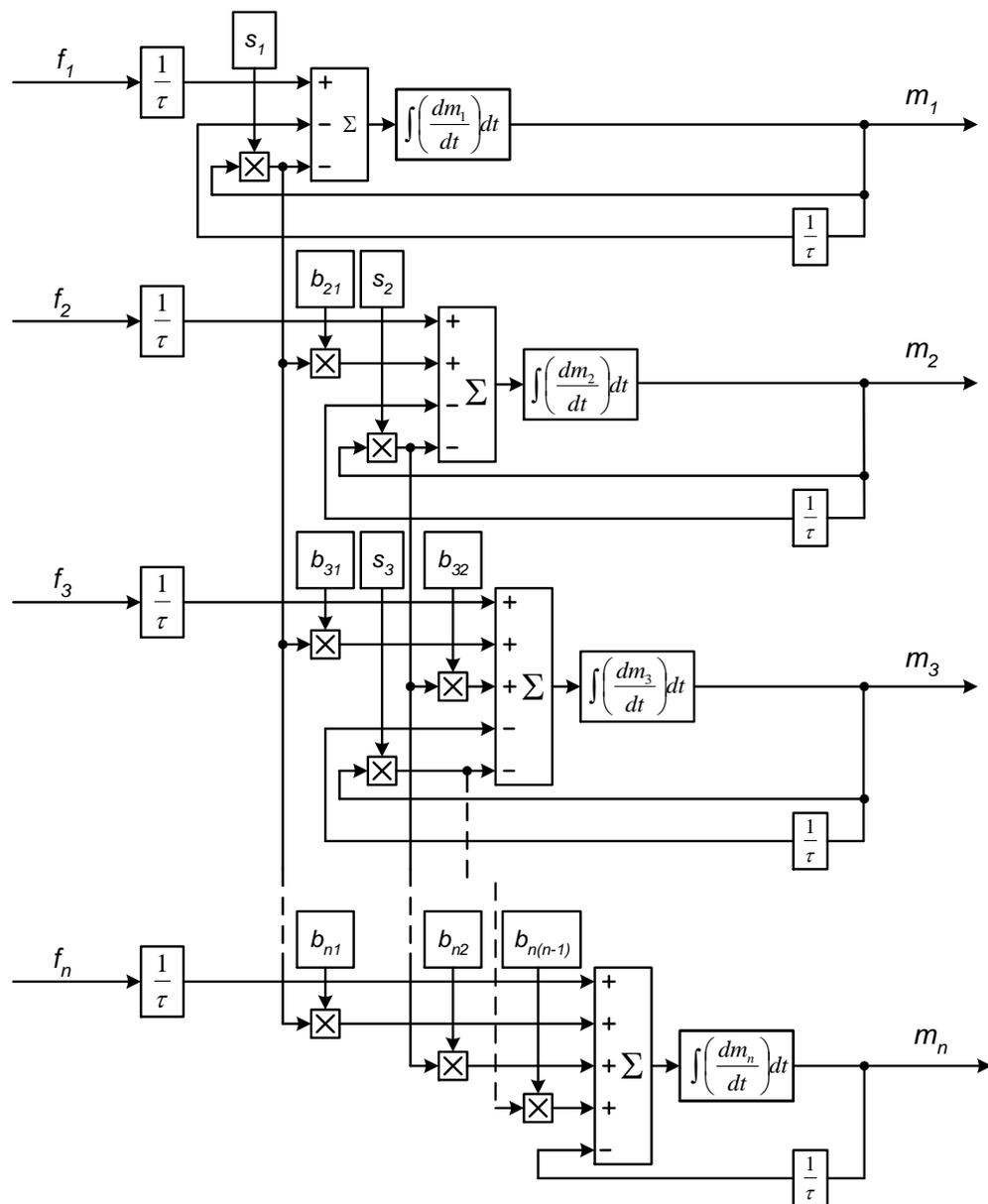


Рис. 5. Структурная схема модели кинетики измельчения

Оценка функции разрушения и отбора измельчаемого материала

Для прогнозирования функции разрушения и функции отбора целесообразно применение нейро-фаззи сети.

Так как физико-механические свойства апатитобадделеитовых руд определяются минералогическим составом основных минералов – апатита и бадделеита, на вход нейро-фаззи сети будем подавать два входных параметра – содержание бадделеита и суммарное содержание апатита и бадделеита в руде.

Структура нейро-фаззи сети показана на рис. 6 и 7.

Входными переменными НФС являются содержания основных минералов (β^{Bad} , β^{Ap+Bad}), определяющих физико-механические свойства измельчаемого материала (апатитобадделеитовой руды). Выходы узлов первого слоя представляют собой значения функций принадлежности терм-множеств конкретных значений соответствующих входных переменных.

В первом слое нейро-фаззи сети проводится фаззификация входных переменных. Выходы узлов первого слоя представляют собой значения функций принадлежности терм-множеств конкретных значений соответствующих входных переменных.

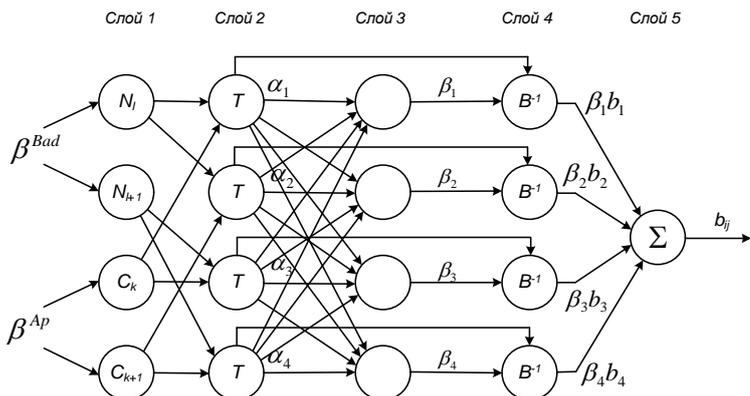


Рис. 6. Структура нейро-фаззи сети (НФС) для прогнозирования функции разрушения материала

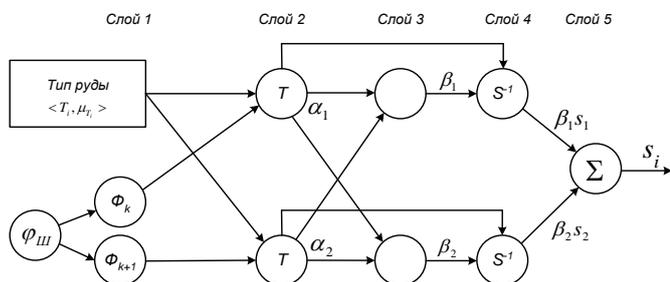


Рис. 7. Структура нейро-фаззи сети для прогнозирования функции отбора материала

На вход нейро-фаззи сети (рис. 7) для прогноза функции отбора целесообразнее подавать не минералогический состав перерабатываемой руды, а ее тип согласно проведенной технологической типизации, основанной на измельчаемости и обогатимости данной руды.

Вторым параметром, подаваемым на вход нейро-фаззи сети, будет являться шаровая загрузка мельницы (объемное заполнение мельницы шарами) – $\varphi_{Ш}$, %.

Выходом нейро-фаззи сети будет являться прогнозное значение коэффициента s_i , составляющего функцию отбора материала.

Нейро-фаззи сети с подобной архитектурой в англоязычной литературе получили название ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

Заключение

Сформулирована задача моделирования технологического процесса измельчения и выявлены закономерности измельчения апатитобадделеитовых руд. Модель процесса измельчения представлена ячеечной, состоящей из каскада трех смесителей идеального смешивания.

Задачей, решаемой системой оценки параметров модели процесса измельчения, является прогнозирование функций отбора и разрушения измельчаемого рудного материала. Для аппроксимации зависимости функций отбора и разрушения материала от его минералогического состава и от состояния шаровой загрузки предлагается использовать аппарат нейро-фаззи сетей, в котором выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, но соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей. Для прогнозирования матрицы классификации предлагается также использовать нейро-фаззи сеть с архитектурой ANFIS. Разработана структура и алгоритмы модели технологического процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице с замкнутым циклом. В работе показана практическая необходимость использования нейро-фаззи сетей для эффективного управления технологическим процессом измельчения.

Литература

1. Стрежнев, Д.С., Мелик-Гайказов, И.В., Ганза, Н.А., Черевко, Н.В. /50 лет по пути инновационного развития // Горный журнал. -2012. -№ 10. -С.7–11.
2. Нарращивание мощностей по производству апатитового и бадделеитового концентратов на ОАО «Ковдорский ГОК» / Тарасов, Г.Е. и др. - Режим доступа: <http://www.kar-met.su/pererabotka-otkhodov-prirodopolzovaniya/pererabotka-otkhodov-prirodopolzovaniya-str35.html>.
3. Линч, А. Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление/А. Дж. Линч.- М.: Недра, 1981. -243 с.
4. Кулаков, А.Г. Ситуационное управление технологической безопасностью процесса измельчения: диссертация канд. техн. наук: 05.13.06 / Кулаков Андрей Геннадьевич. –М., 2008.
5. Богатиков, В.Н., Исследование агрегата мокрого измельчения с замкнутым циклом как объекта автоматического управления / В.Н. Богатиков, А.Г. Кулаков // Информационные технологии в региональном развитии: сборник научных трудов. –Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. -Вып. IV. -С.80-91.

Сведения об авторах

Туз Андрей Александрович – электромеханик, аспирант,
e-mail: andrew339@yandex.ru
Andrey A. Tuz –Post-graduate

Богатиков Валерий Николаевич - д.т.н., профессор кафедры в МГТУ,
зав. кафедры электропривода и автоматики КФ ПетрГУ,
e-mail: VNBGTK@mail.ru
Valery N. Bogatikov - Dr. of Sci (Tech), Professor

УДК 004.94

Д.Н. Халиуллина¹, В.Н. Богатиков^{2,3}, А.В. Горохов⁴

¹ ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

² Мурманский государственный технический университет

³ Кольский филиал ПетрГУ

⁴ Марийский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация

В данной работе рассматривается применение когнитивного подхода к моделированию процессов развития малого предприятия. Приводится исследование разработанной когнитивной модели в среде AnyLogic, а также рассматривается возможность ее использования для прогнозирования развития инновационного предприятия.

Ключевые слова:

когнитивное моделирование, имитационное моделирование.

D.N. Khaliullina, V.N. Bogatikov, A.V. Gorokhov

RESEARCH OF DYNAMICS OF SMALL ENTERPRISE DEVELOPMENT PROCESSES BASED ON COGNITIVE MODELING

Abstract

The article describes using cognitive approach to modeling the processes of small enterprise development. The model research and an opportunity of using it for forecasting of innovative enterprise development are considered.

Key words:

cognitive modeling, simulation modeling.

Введение

В настоящее время в науке и практике принятия решений уделяется достаточно много внимания методам имитационного моделирования различных систем. Данные методы лежат в основе оценки последствий принимаемых решений и служат основой их выбора.

Известно много работ, посвященных имитационному моделированию. Это моделирование (В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, Н.П. Бусленко, Б.В. Палюх, А.Ф. Егоров, И.Г. Поспелов, Н.Б. Кобелев, В.Г. Матвейкин, Н.С. Попов, В.А. Путилов и др.) и технологических процессов, моделирование организационных и технико-экономических систем. Активная работа по созданию системно-динамических диаграмм различных региональных систем ведется Н.Н. Лычкиной, а модели экономического потенциала трудовых ресурсов и демографической ситуации региона рассмотрены в монографии В.А. Путилова и А.В. Горохова [1-9].

Можно выделить основные области применения динамического моделирования:

1. Сложные, слабо формализованные ситуации, в которых невозможно применение аналитических методов или они настолько сложны и трудоемки, что динамическое моделирование дает более простой способ решения проблемы.

2. Моделирование поведения систем в ситуациях, которые раньше не встречались; в данном случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий управления системой перед проведением эксперимента на реальном объекте.

3. Моделирование ситуаций, наблюдение которых осложнено большой длительностью их развития или наоборот, т.е. когда необходимо контролировать ситуации путем ускорения или замедления явлений в ходе имитации.

Основная особенность имитационного моделирования - это возможность оценить параметры системы в условиях недостаточности информации. Они позволяют сделать оценки параметров случайных процессов, которые окружают обычные системы, оценки параметров самих систем, а это в свою очередь, дает возможность прогнозировать характер поведения объектов исследования.

В настоящей работе развиваются принципы принятия решений для инновационных технологических процессов. Характер поведения таких процессов весьма сложен, поскольку они находятся под влиянием внешних возмущений и неустановившихся процессов внутри системы. В связи с этим приходится принимать решения в условиях большой неопределенности.

Построение когнитивной модели инновационного предприятия

Для моделирования сложных плохо формализуемых систем (например, социальных, технико-экономических, региональных и т.п.) используется когнитивный подход, который основывается на когнитивных аспектах. Эти аспекты включают в себя процессы восприятия, мышления, познания, объяснения и понимания. Когнитивный подход в поддержке принятия решений помогает субъекту представить проблему в виде формальной модели. Разработка такой модели сложной системы чаще всего начинается с построения когнитивной карты – знакового ориентированного графа, которая получается путем структуризации знаний эксперта (экспертов) о предметной области на основе теоретических представлений, статистических данных, применения различных экспертных методов [10-12].

С позиций когнитивного подхода процесс моделирования можно представить в виде схемы (рис. 1).

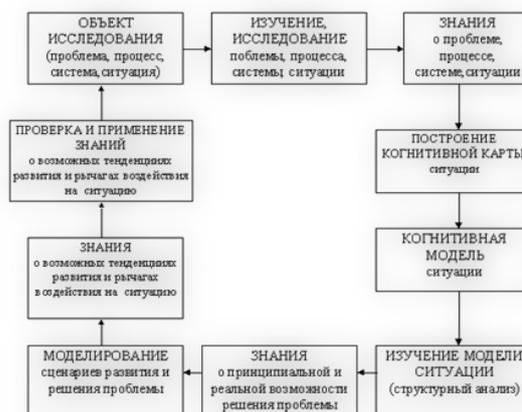


Рис. 1. Схема моделирования с точки зрения когнитивного подхода [13]

Для построения когнитивной карты инновационного предприятия были выделены следующие основные факторы:

1. Баланс (финансовые средства предприятия (баланс), управление доходами и расходами).
2. Персонал (представлен собственно персоналом, интенсивностью прироста кадров, распределением и интенсивностью увольнения).
3. Производство (производство продукции, управление объемом производства).
4. Менеджмент (управление предприятием, управление персоналом (структура, приказы, распоряжения)).
5. Рынок (управление ценой).

Учитывая взаимодействие основных факторов, можно построить когнитивную карту инновационного предприятия (рис. 2).

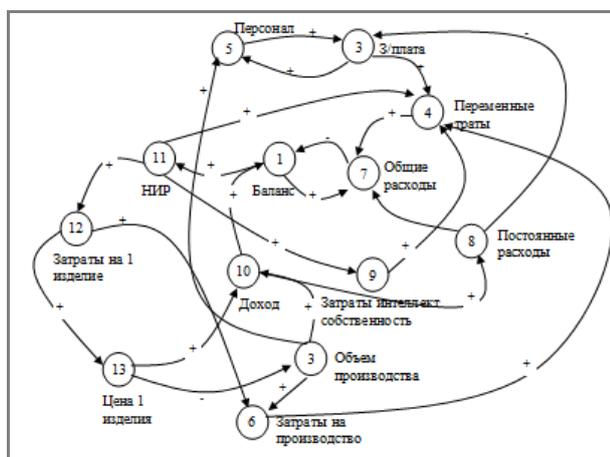


Рис. 2. Когнитивная карта инновационного предприятия

При когнитивном моделировании определяются основные тенденции и стратегические сценарии развития системы, при этом учитывают: набор факторов, влияющих на развитие системы и когнитивные карты, отображающие взаимовлияние факторов.

Исследование когнитивной модели в среде AnyLogic

От когнитивной карты можно перейти к потоковому моделированию, которое связано с исследованием динамики финансовых, информационных, материальных и иных потоков, циркулирующих в активной системе и между системой и внешней средой.

В потоковых диаграммах системной динамики используется четыре базовых графических объекта: накопители (уровни, переменные состояния), потоки (связи между накопителями, вентили, регулирующие потоки, функциональные зависимости, определяющие взаимное влияние потоков).

Уровни в модели AnyLogic представляют накопления в моделируемой системе, суммирование всех изменений, которые наполняют и истощают уровень потоками (рис. 3). В модели уровни - это "состояние" системы, потоки - "действие".

В качестве основных переменных были выбраны следующие факторы:

- $x_1 - StaffChoice$ – интенсивность прироста кадров;
- $x_2 - Discharge$ – интенсивность увольнения;
- $x_3 - Staff$ – численность персонала;
- $x_4 - TotalWages$ – общая заработная плата;
- $x_5 - VariabExpend$ – переменные расходы;
- $x_6 - TotalExpend$ – общие расходы;
- $x_7 - EnterpBalance$ – балансовая наличность предприятия;
- $x_8 - ChangeSREDW$ – изменение финансирования НИОКР;
- $x_9 - SREDW$ – расходы на НИОКР;
- и другие факторы.

Значение переменных вычисляется согласно заданным уравнения. В качестве примера можно рассмотреть следующие зависимости:

1. $d(Staff)/dt = StaffChoice - Discharge$ - дифференциал численности сотрудников на предприятии равен разности принятых сотрудников и уволенных.

2. $TotalWages = Wages \cdot Staff$ – значение зарплаты на заработную плату вычисляется из произведения средней заработной платы на количество сотрудников на предприятии.

3. $VariabExpend = TotalWages + OtherExpend + Production + SREDW$ - переменные затраты складываются из затрат на заработную плату, затрат на различные нужды, затрат на производство и затрат на НИОКР.

4. $Production = OutlayArticle \cdot Quantity$ – затраты на производство являются произведением затрат на одно изделие на количество произведенной продукции.

Учитывая введенные обозначения и формулы, структурная схема влияния переменных примет следующий вид (рис. 5).

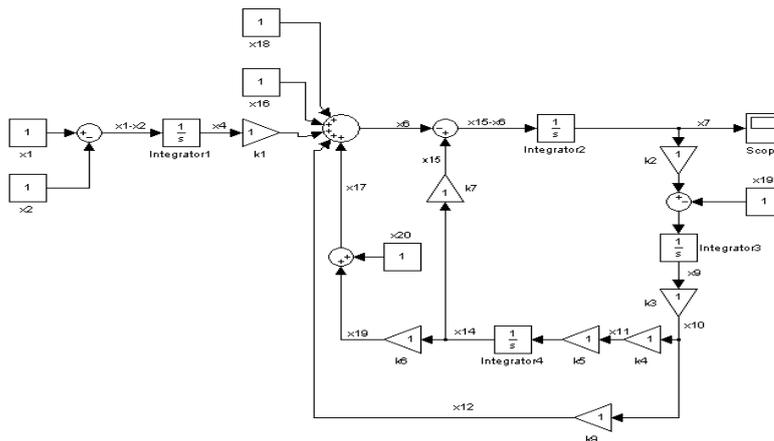


Рис. 5. Схема влияния переменных

Определим влияние каждой свободной переменной на выходную переменную x_7 (балансовая наличность предприятия).

Влияние переменной x_1 (интенсивность прироста кадров):

$$(k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_7 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_7}{dt} - \frac{d^3 x_7}{dt^3} = k_1 \frac{dx_1}{dt}.$$

Анализ влияния прироста кадров на выходную переменную, показывает, что увеличение штата сотрудников приводит к увеличению затрат, что негативно сказывается на балансовой наличности предприятия.

Влияние переменной x_2 (интенсивность увольнения):

$$(k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7) \cdot x_7 + k_2 \cdot k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_7}{dt} + \frac{d^3 x_7}{dt^3} = k_1 \frac{dx_2}{dt}.$$

Рассматривая переменную, отвечающую за интенсивность увольнения, и анализируя ее влияние на общие затраты, а соответственно и на уровень балансовой наличности предприятия, получаем, что увеличение значения данной входной переменной приводит к увеличению значения выходной переменной.

Влияние переменной x_{16} (дополнительные расходы):

$$(k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_7 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_7}{dt} - \frac{d^3 x_7}{dt^3} = \frac{d^2 x_{16}}{dt^2}.$$

Анализируя влияние затрат на дополнительные нужды на выходную переменную, можно сделать вывод, что увеличение данного вида затрат снизит уровень балансовой наличности предприятия за счет увеличения общих расходов.

Влияние переменной x_{18} (затраты на интеллектуальную собственность):

$$(k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_7 + (k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 - k_2 \cdot k_3 \cdot k_5) \frac{dx_7}{dt} - k_3 \cdot k_5 \frac{d^2 x_7}{dt^2} + (k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7) \cdot x_{18} + k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_{18}}{dt} - \frac{d^2 x_{18}}{dt^2} = 2 \cdot \frac{d^3 x_7}{dt^3}.$$

Анализ влияния затрат на интеллектуальную собственность показывает, что увеличение данного вида расходов негативно сказывается на значении уровня балансовой наличности предприятия.

Влияние переменной x_{20} (постоянные затраты предприятия):

$$(k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_7 - k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_7}{dt} - \frac{d^3 x_7}{dt^3} = \frac{d^2 x_{20}}{dt^2}.$$

Переменная, отвечающая за постоянные расходы, напрямую связана с общим количеством расходов, поэтому увеличение значения данной переменной будет уменьшать значение выходной переменной.

Общее влияние входных переменных на балансовую наличность предприятия будет определяться формулой:

$$\begin{aligned} & (2 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - 2 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 + k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_7 + \\ & + (k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 - 2 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_5 - k_3 \cdot k_5) \cdot \frac{dx_7}{dt} - k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{d^2 x_7}{dt^2} - 4 \cdot \frac{d^3 x_7}{dt^3} = \\ & = k_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} + k_1 \frac{dx_2}{dt} + \frac{d^2 x_{16}}{dt^2} + \frac{d^2 x_{20}}{dt^2} + (k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 - k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6) \cdot x_{18} - k_3 \cdot k_5 \cdot \frac{dx_{18}}{dt} + \frac{d^2 x_{18}}{dt^2}. \end{aligned}$$

Влияние каждой переменной можно проследить, построив структурную схему для данного фактора. В качестве примера можно рассмотреть влияние затрат на интеллектуальную собственность с регулятором и без него (табл.).

Сравнение структурных схем

Название схемы	Реализация схемы	Результат моделирования
Структурная схема влияния затрат на интеллектуальную собственность на балансовую наличность предприятия без регулятора		<p>График разгона модели показывает, что процесс пополнения наличности при введенных значениях входной переменной приобретает неконтролируемый характер</p>
Структурная схема влияния затрат на интеллектуальную собственность на балансовую наличность предприятия с регулятором		<p>Установка регулятора позволяет сдерживать рассматриваемый неконтролируемый процесс</p>

Соответствие данных, полученных при прогоне модели в среде AnyLogic, данным, полученным в среде Matlab, подтверждает наши предположения о зависимости рассматриваемых входных переменных. Это дает возможность использовать Matlab для моделирования распределения ресурсов.

Заключение

В рамках данной работы проводились исследования, позволяющие определить влияние не только отдельных входных параметров на состояние системы, но и общее влияние всех переменных на систему в целом (рис. 6).

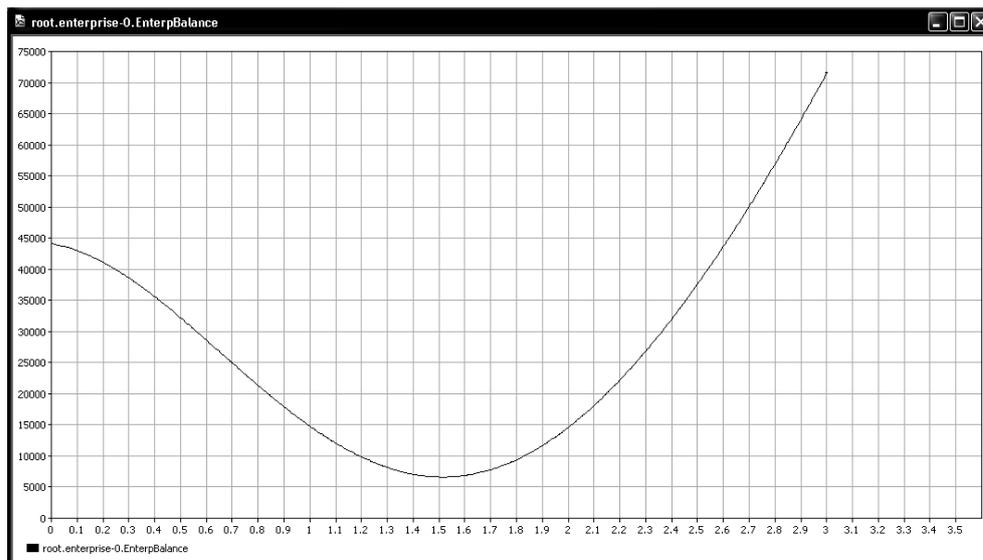


Рис. 6. Развитие предприятия при влиянии всех переменных

Исследуя зависимость уровня балансовой наличности от всех входных параметров (интенсивность прироста кадров, интенсивность увольнения, затраты на заработную плату, расходы на различные нужды, постоянные затраты, затраты на интеллектуальную собственность) одновременно, можно сделать вывод, что спад данной переменной происходит не на всем промежутке времени. Это обусловлено тем, что реализация продукции на начальных этапах не покрывает затрат, потраченных на научные исследования и опытно-конструкторские разработки, но со временем происходит восполнение потраченных средств, выход на начальное состояние балансовой наличности и дальнейшее ее пополнение. Отклонение показателей модели от реальных значений составляет 3-5%, что дает возможность убедиться в полезности данной методики.

Литература

1. Кафаров, В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учеб. пособие для вузов / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. - М.: Высшая школа, 1991. - 400 с.
2. Мешалкин, В.П. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем: учеб. пособие - "Высшее образование", ГРИФ / В.П. Мешалкин, О.Б. Бутусов, А.Г. Гнаука. - Изд.: Инфра-М, 2010. - 357 с.
3. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. - М.: Изд-во «Наука», 1968. - 357 с.
4. Палюх, Б.В. Программные средства имитационного моделирования размерной структуры технологических процессов / Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо, Г.И. Рогозин // Программные продукты и системы. -2010.-№1(89).-С.82 - 85.
5. Поспелов, И.Г. Моделирование экономических структур / И.Г. Поспелов. - М.: ФАЗИС; ВЦ РАН, 2004. - 208 с.

6. Матвейкин, В.Г. Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции / В.Г. Матвейкин. - М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2007. –140 с.
7. Лычкина, Н.Н. Технологические возможности современных систем моделирования / Н.Н. Лычкина /Банковские технологии. - М., вып. 9, 2000.
8. Лычкина, Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании /Н.Н. Лычкина. – Вестник университета, серия “Информационные системы управления”. - М.: ГУУ, 2000. -№ 2.
9. Путилов, В.А. Системная динамика регионального развития / В.А. Путилов, А.В. Горохов // Монография. Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. –306 с.
10. Прохорова, В.В. Когнитивное моделирование устойчивого экономического развития предприятий /В.В. Прохорова //Экономика и управление. - 2011. -№1.– С.24-30.
11. Робертс, Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. /Ф.С. Робертс. - М.: Наука, 1986. –497 с.
12. Горелова, Г.В. Структурный анализ когнитивных моделей сложных систем / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова / Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2006): труды 6-й Международной конференции / под ред. З.К. Авдеевой, С.В. Ковриги. -М.: Институт проблем управления РАН. – 2006. - С.172-185.
13. Максимов, В.И., Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений / В.И. Максимов, Е.К. Корноушенко, С.В. Качаев //Информационное общество. – 1999. – № 2.– С.50–54.
14. Горохов, А.В. Системная динамика в задачах регионального планирования /А.В. Горохов, В.А. Путилов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005 - 137с.
15. Малыгина, С.Н. Разработка системы имитационного моделирования развития малого и среднего промышленного предприятия / С.Н. Малыгина, Д.Н. Абалымова // Прикладные проблемы управления макросистемами: труды Института системного анализа Российской академии наук, 2008. - Т.39. - С.256-262.

Сведения об авторах

Халиуллина Дарья Николаевна – младший научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.kolasc.net.ru

Darya N. Khaliullina - Junior researcher

Богатиков Валерий Николаевич - д.т.н., профессор кафедры в МГТУ,
зав. кафедры электропривода и автоматики КФ ПетрГУ,
e-mail: VNBGTK@mail.ru

Valery N. Bogatikov - Dr. of Sci (Tech), Professor

Горохов Андрей Витальевич - д.т.н.,
e-mail: agv64@mail.ru

Andrey V. Gorokhov - Dr. of Sci (Tech)

УДК 004.94

О.В. Кудинова, Д.Н. Халиуллина¹

¹ ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
КНЦ РАН

СОЗДАНИЕ ШАБЛОНОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В данной работе рассмотрена проблема трудовых ресурсов Мурманской области. Представлен краткий обзор понятий имитационного моделирования и онтологии. Предложен подход к созданию имитационной модели прогнозирования баланса трудовых ресурсов в регионе на основе онтологий.

Ключевые слова:

трудовые ресурсы, онтология, имитационная модель.

O. V. Kudinova, D.N. Khaliullina

CREATING TEMPLATES OF SIMULATION MODEL FOR LABOUR FORCE BALANCE PREDICTION BASED ON THE ONTOLOGICAL DESCRIPTIONS OF SUBJECT AREA

Abstract

The article describes the problems of labour force in Murmansk region. A brief review of terms of simulation modeling and ontology is observed. An approach to creating of simulation model for labour force balance prediction based on the ontological descriptions is suggested.

Key words:

labour force, ontology, simulation model.

Введение

Многие предприятия и организации Мурманской области испытывают дефицит квалифицированных кадров. Экономика региона нуждается в специалистах инженерно-технического профиля и рабочих строительных профессий, а также в области жилищно-коммунального хозяйства и рыбо-обработки [1].

В основе формирования трудовых ресурсов лежат демографические процессы. По данным Всероссийской переписи 2010 года численность постоянного населения Мурманской области составила 795,4 тыс. человек, снизившись за межпереписной период (с 2002 года) на 97,1 тыс. человек.

Основной и наиболее существенной причиной сокращения численности населения области в период с 2002 по 2010 год была миграционная убыль. Другой причиной сокращения численности населения явилась естественная убыль. Устойчивая тенденция сокращения естественной убыли населения отмечается, начиная с 2007 года.

Снижение общей численности населения повлекло за собой сокращение численности трудовых ресурсов. В 2011 году трудовые ресурсы Мурманской области составили 538262 человека, снизившись за последние 5 лет на 10 %.

В целом по области доля трудовых ресурсов в общей численности населения снизилась с 72,8 % в 2010 году до 68 % в 2011 году. Снижение произошло, в основном, за счет уменьшения численности трудоспособного населения. В связи с этим, в Мурманской области возникла проблема распределения кадров.

Одним из эффективных методов моделирования сложных социальных процессов является метод имитационного моделирования. Для решения проблемы распределения предлагается создать имитационную модель (ИМ) баланса трудовых ресурсов на основе онтологий, опирающихся на анализ тенденций экономических, социальных, демографических и других показателей, что позволит удобно и наглядно дать оценку ситуации и проводить необходимые эксперименты.

Процесс решения данной задачи был условно разбит на несколько этапов:

- создание онтологии предметной области;
- выделение типовых структурных элементов шаблонов (некоторых типовых конструкций, обладающих неизменной структурой, а также функционально реализующих определенную цель) [2] из онтологии;
- непосредственно создание шаблонов;
- построение базовой имитационной модели из полученных шаблонов.

Создание онтологии предметной области

Когда заходит речь о моделировании сложной системы с самого начала, то сам процесс описания концептуальной модели становится трудоемким и сложным. Одним из способов реализации этого является представление концептуальной модели в виде иерархической древовидной структуры, на основе которой собирается системно-динамическая модель из конечного набора типовых шаблонов. В качестве концептуальной модели может выступать онтологическое описание предметной области [3, 4].

Формально онтология понимается как система понятий некоторой предметной области, которая представляется как набор сущностей, соединенных различными отношениями [5].

В рамках работы ИИММ КНЦ РАН была разработана онтология распределения трудовых ресурсов в Мурманской области, часть которой представлена на рис. 1.

Основные понятия, которые отражают и характеризуют трудовые ресурсы региона в онтологии, представлены следующими классами: *Демография, Категории Персонала, Население, Предприятия, Трудовые Ресурсы, Учебные Заведения* и др.

Между понятиями установлены отношения наследования:

- *Демография* имеет подклассы *Демография Населения* и *Демография Предприятия*;
- *Население* имеет подклассы *Местное Население, Миграция Населения*;
- *Трудовые Ресурсы* имеет подклассы *Трудовые Ресурсы Молодежь, Трудовые Ресурсы Основные, Трудовые Ресурсы Пожилые*;
- *Учебные Заведения* имеет подклассы *ВУЗы, Колледжи, Школы*;
- и др.

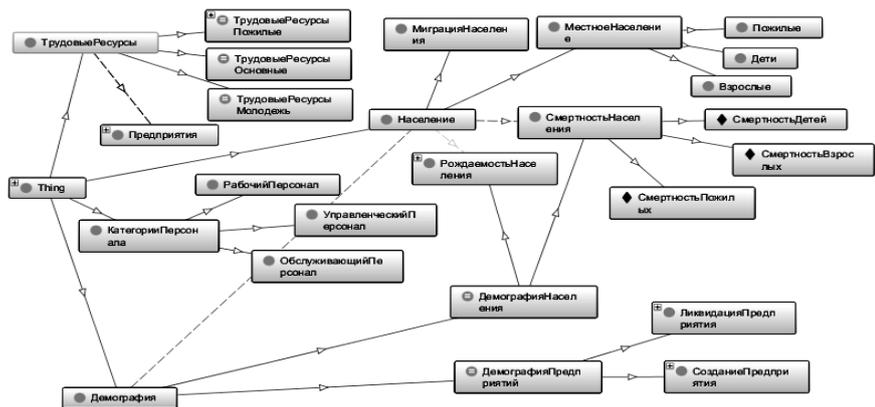


Рис. 1. Часть онтологии распределения трудовых ресурсов Мурманской области, реализованная в Protégé

Область допустимых значений понятий определяется типом переменной, к которым они относятся, например:

- *ДатаСоздания* (тип integer) относится к классу *Предприятия*;
- *ИмеетВозраст* (тип integer) относится к классу *Население*;
- *КоличествоЧеловек* (тип integer) относится к классу *Население*;
- *Коэффициент_выпускников* (тип integer) относится к классам *Школы*, *Колледжи* и *ВУЗы*;
- *Коэффициент_ликвидации_предприятий* (тип double) относится к классу *ЛиквидацияПредприятий*;
- *Коэффициент_рождаемости* (тип double) относится к классу *РождаемостьНаселения*;
- и др.

Для представления элементов онтологии трудовых ресурсов используются экземпляры классов. Вот некоторые из них:

- *СмертностьДетей*, *СмертностьВзрослых*, *СмертностьПожилых* являются экземплярами класса *СмертностьНаселения*;
- *СозданиеМалыхПредприятий*, *СозданиеСреднихПредприятий*, *СозданиеКрупныхПредприятий* являются экземплярами класса *СозданиеПредприятий*;
- *ЛиквидацияКрупныхПредприятий*, *ЛиквидацияМалыхПредприятий*, *ЛиквидацияСреднихПредприятий* являются экземплярами класса *ЛиквидацияПредприятий*.
- и др.

Ограничение информации, содержащейся в онтологии, и проверка ее корректности могут быть заданы правилами:

1. Ограничение работоспособности женщин при достижении 50 лет и перевод их в разряд пожилых с возможностью работать описывается следующим образом:

Население(?x), integer[> 50](?age), Имеет_возраст(?x, ?age),
 Имеет_пол(?x, "ж") -> Пожилые(?x), Возможность_полной_занятости(?x, true), Возможность_частичной_занятости(?x, true).

2. Расчет общего количества рабочих мест на предприятии с учетом всех категорий рабочих производится с учетом следующего правила:

Предприятия(?x), КоличествоОбслуживающегоПерсонала(?x, ?y1),
КоличествоРабочегоПерсонала(?x, ?y2),
КоличествоУправленческогоПерсонала(?x, ?y3), add(?z, ?y1, ?y2),
add(?z1, ?z, ?y3) -> КоличествоРабочихМест(?x, ?z1).

3. Перевод населения из класса *Дети* в класс *Трудовые РесурсыМолодежь* производится в том случае, если данное население имеет возможность работать. Правило, отражающее данный процесс, записывается следующим образом:

Дети(?x), Возможность_частичной_занятости(?x, true) ->
ТрудовыеРесурсыМолодежь(?x).

Остальные ограничения также задаются правилами, которые позволяют более детально представить информацию предметной области.

Также в онтологии между понятиями установлены атрибутивные и функциональные связи («*ИмеетВлияние*», «*РаботаетВ*», «*ВходитВ*» и др.) и количественные и пространственно-временные отношения («*ИмеетВозраст*», «*ГодРождения*», «*КоличествоРаботников*» и др.).

Таким образом, в онтологию была включена вся необходимая для данного этапа информация.

Алгоритм выделения типовых структурных элементов шаблонов из онтологии

Одним из вариантов реализации ИМ является системно-динамическая модель. Задание входных, выходных переменных и проведение экспериментов позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования систем. Основными структурными элементами таких моделей являются:

Накопители (также называемые уровнями или фондами) представляют собой такие объекты реального мира, в которых сосредотачиваются некоторые ресурсы. Их значения изменяются непрерывно.

Потоки – это активные компоненты системы, они изменяют значения накопителей. Поток снабжается регулятором, который управляет интенсивностью наполнения или уменьшения фонда с помощью вычисляемого алгебраического выражения. В свою очередь, накопители системы могут определять значения потоков.

Вспомогательные переменные помогают преобразовывать одни числовые значения в другие. Они показывают меняющееся значение признака при текущих изменениях модели в процессе имитации. Данные элементы могут произвольно изменять свои значения или быть константами [6].

Исходя из того, что любой шаблон ИМ, построенной на основе системной динамики, состоит из вышеупомянутых элементов, процесс создания шаблона из онтологии можно разбить на несколько этапов:

1. Выявление динамических объектов. В соответствии с целью моделирования эксперт по онтологиям совместно с экспертом по ИМ, указывает те понятия области, которые являются динамическими.

2. Выделение уровней. В соответствии с целью моделирования (цель создания шаблона) ставится задача выделения из онтологии древовидной структуры концептов. Она решается путем вырезания фрагмента онтологии, соответствующей цели, при этом последние вершины выделенного графа будут отнесены к уровням.

3. Выделение потоков. Так как понятие потока подразумевает под собой изменяющуюся во времени величину, то экземпляры динамических понятий, определенных на первом этапе, становятся потоками.

4. Выделение переменных. На этом этапе достаточно установить, в каких атрибутах класс, к которому принадлежит данный поток, участвует в качестве домена. Если такие атрибуты будут найдены, то они будут отнесены к переменным, связывающим соответствующий поток с уровнем.

5. Выделение вспомогательных переменных. Переменные, не связанные с потоками, но имеющие отношение к цели, устанавливаются как вспомогательные переменные.

Таким образом, получаем данные обо всех возможных предположительных потоках, уровнях, переменных и вспомогательных переменных в соответствии с заданной целью моделирования шаблона.

Создание шаблонов из онтологии

Для прогнозирования баланса трудовых ресурсов необходимо создать имитационную модель, состоящую из следующих шаблонов:

- шаблон «Население области»;
- шаблон «Предприятия области»;
- шаблон «Рабочие места предприятий отрасли».

Рассмотрим создание шаблонов на примере шаблона «Население области» в соответствии с определенными выше этапами.

1. Для указания динамических объектов в онтологию вводится свойство *ИмеетВлияние*. Оно определяет изменение значений во времени того или иного понятия. Динамика может быть либо отрицательной (свойство принимает значение 0), либо положительной (свойство принимает значение 1). Так как целью моделирования в данном случае является получение данных о динамике развития населения, то динамическими становятся такие понятия, как *РождаемостьНаселения* и *СмертностьНаселения*.

2. В соответствии с целью моделирования вырезаем древовидную структуру (рис. 2). Согласно предложенному алгоритму, уровнями становятся классы *Дети*, *Взрослые* и *Пожилые*.

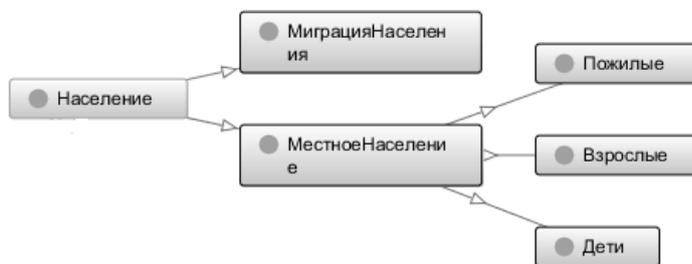


Рис. 2. Дерево понятий в соответствии с поставленной целью

3. Далее производится поиск классов, имеющих свойство динамических объектов *ИмеетВлияние*. Экземпляры полученных классов становятся *потоками*, а в зависимости от значения свойства, они будут иметь либо положительное, либо отрицательное влияние на уровень (рис. 3).



Рис. 3. Разделение потоков на положительные и отрицательные

4. Следующим шагом является выделение переменных. В качестве примера рассмотрим *поток Смертность Детей*. Он является членом класса *Смертность Населения*, который, в свою очередь, используется в атрибуте *Коэффициент смертности* в качестве домена. Следуя предложенной технологии, найденный атрибут будет отнесен к *переменным*. Аналогично, для *потока Рождаемость Детей* *переменной* станет атрибут *Коэффициент рождаемости*.

5. Атрибуты онтологии, связанные с целью моделирования, но не отнесенные к какому-либо структурному элементу ИМ, могут быть выделены, как *вспомогательные переменные*. Например, к данным структурным элементам можно отнести атрибут *Имеет Возраст*, поскольку его значение будет влиять на связи между *уровнями*.

Аналогичным образом создаются остальные шаблоны ИМ.

Построение имитационной модели на основе полученных шаблонов

Далее производится связывание шаблонов, которое будет зависеть от конкретной поставленной задачи. Связь между шаблонами образуется лишь в том случае, когда в рассматриваемых шаблонах имеется хотя бы один и тот же структурный элемент. Затем шаблоны передаются на обработку экспертам по ИМ, которые отбирают необходимые *уровни*, *потоки* и *вспомогательные переменные*, при этом базовые формулы для данных элементов устанавливаются в автоматическом режиме.

По определению, *уровни* в модели представляют накопления в моделируемой системе, суммирование всех изменений, которые наполняют и истощают уровень потоками, поэтому базовая формула для вычисления будет иметь вид:

$$d(\text{Уровень}) / dt = \text{Входящий_Поток} - \text{Исходящий_Поток},$$

где *Входящий Поток* - поток, который наполняет уровень (имеет положительное влияние);

Исходящий _ Поток - поток, который исчерпывает уровень (имеет отрицательное влияние).

Потоки задают скорости изменения уровней, и если при этом учитывать переменные, которые связывают уровни с потоками, можно задать формулы для вычисления потоков:

$$\text{Поток} = \text{Переменная} \cdot \text{Уровень} ,$$

где Уровень - рассматриваемый уровень, имеющий связь с потоком;

Переменная - переменная, которая связывает рассматриваемый уровень с потоком.

Связи и формулы для остальных переменных задаются экспертом.

Полученные шаблоны выглядят следующим образом:

- Шаблон «Население области» (рис. 4).

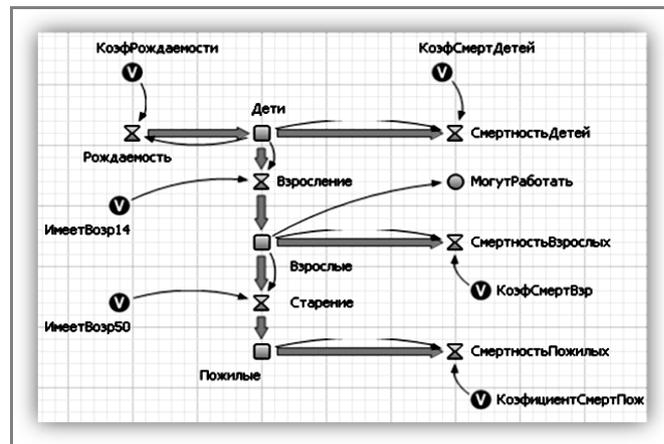


Рис. 4. Шаблон «Население области»

- Шаблон «Предприятия области» (рис. 5).

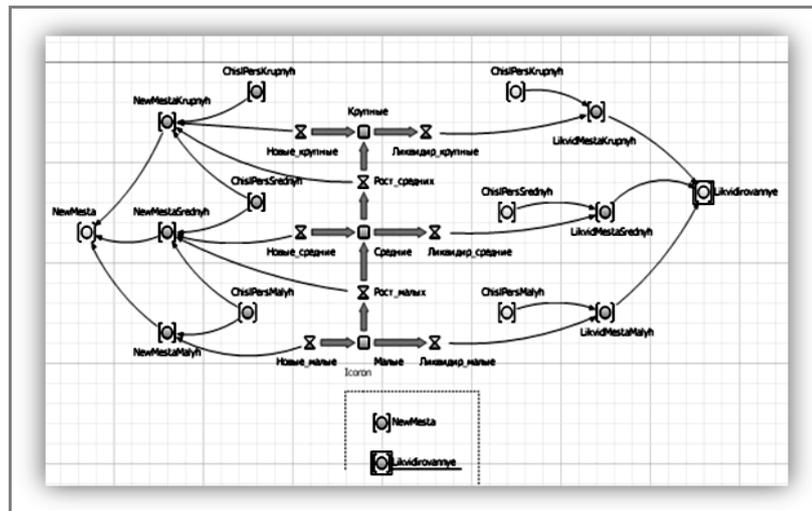


Рис. 5. Шаблон «Предприятия области»

- Шаблон «Рабочие места предприятия области» (рис. 6).

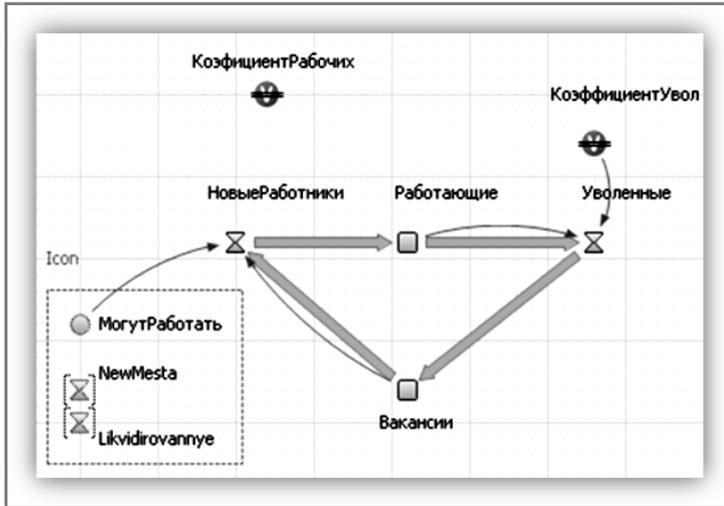


Рис. 6. Шаблон «Рабочие места предприятий области»

Анализ разработанных шаблонов показывает, что они связаны между собой хотя бы одним структурным элементом (рис. 7).

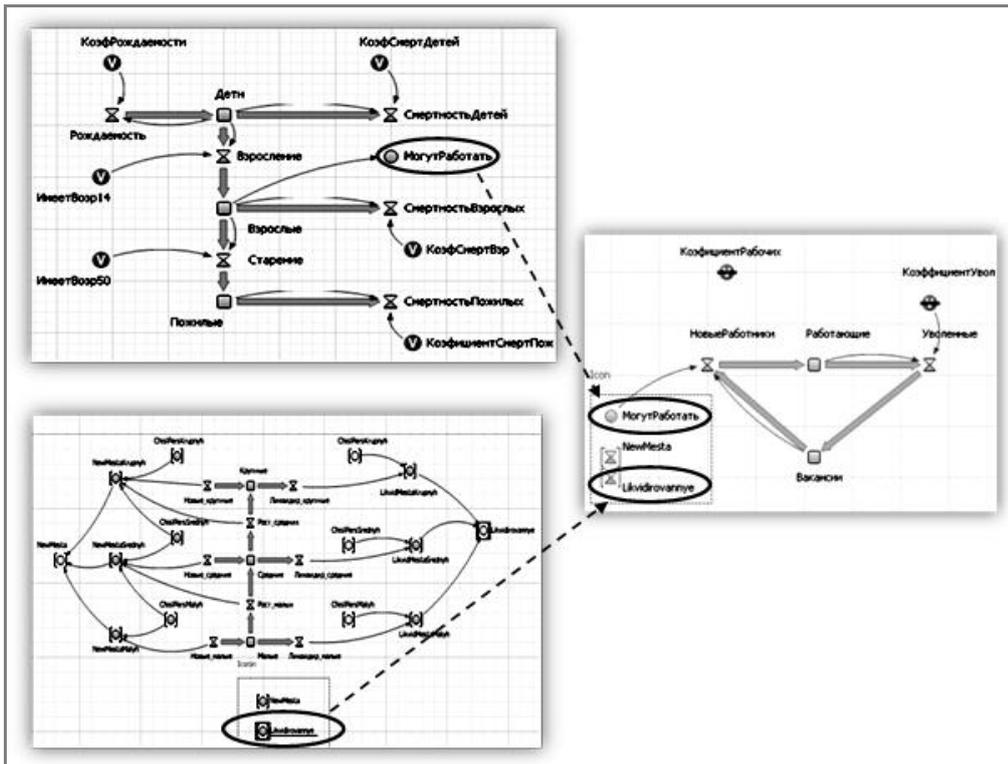


Рис. 7. Связи шаблонов

Так связующим звеном для шаблонов «Рабочие места предприятий области» и «Предприятия области» является элемент «Ликвидированные», а для шаблонов «Рабочие места предприятий области» и «Население области» - «Могут Работать».

В результате применения предложенного подхода был получен набор типовых шаблонов для данной задачи, комбинация которых позволяет производить эксперименты для прогнозирования развития трудовых ресурсов Мурманской области.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе показана возможность применения онтологических описаний для создания имитационных моделей на основе системной динамики с использованием технологии концептуальных шаблонов. Данная технология позволила получить имитационную модель для прогнозирования баланса трудовых ресурсов в Мурманском регионе. Это дает возможность не только наглядно оценить текущую ситуацию, но и проводить эксперименты в зависимости от поставленной задачи.

Литература

1. Мещерякова, А.В. Аналитическая записка к прогнозу баланса трудовых ресурсов на 2013 – 2015 гг.
– Режим доступа: <http://www.murman-zan.ru/Attachment.axd?id=fac61597-be67-4ae0-9fd5-b0688e0c5a94>
2. Быстров, В.В. Информационная технология концептуального синтеза имитационных моделей /В.В. Быстров, А.В. Горохов // ЭКОМОД 2007: сборник трудов II Всероссийской научной конференции. – Киров, 2007. - С.69-76.
3. Быстров, В.В. Технология концептуальных шаблонов для синтеза имитационных моделей сложных систем /В.В. Быстров, А.В. Горохов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды IX Международной конференции. – Самарский научный центр РАН, Самара, 2007. - С.462 – 467.
4. Шелех, О.В. Развитие технологии имитационного моделирования сложных систем /О.В. Шелех, А.В. Горохов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XI Международной конференции. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2009. - С.455-461.
5. Guarino, N. Ontologies: What are they, and Where’s The Research?
– Режим доступа: <http://www-ksl.stanford.edu/KR96/Panel.html/>
6. Forrester, Jay W. Industrial Dynamics. -Режим доступа:
http://www.big.spb.ru/publications/other/metodology/system_dynamic.shtml

Сведения об авторах

Кудинова Олеся Владимировна - стажер-исследователь,
e-mail: olaesy@rambler.ru
Olesya V. Kudinova – Probationer-researcher

Халиуллина Дарья Николаевна – младший научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.kolasc.net.ru
Darya N. Khaliullina - Junior researcher

УДК 004.94

С.Н. Малыгина^{1,2}, А.А. Менькова²

¹ Институт информатики и математического моделирования Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал ПетрГУ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАДРОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТОРГОВОЙ ОТРАСЛИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В статье рассматривается системно-динамическая модель, позволяющая оценить кадровую потребность отрасли региона.

Ключевые слова:

имитационное моделирование, системная динамика.

S.N. Malygina, A.A. Menkova

SIMULATION MODEL OF MANPOWER NEEDS BY THE EXAMPLE OF THE TRADING INDUSTRY IN THE MURMANSK REGION

Abstract

The paper considers the system-dynamic model for estimating manpower needs for the industry of the region.

Key words:

simulation, system dynamic.

Введение

Кадровая безопасность является одной из составляющих безопасности, наряду с другими – социально-экономической, экологической и др. Под кадровой политикой региона будем понимать стратегию региона по формированию и рациональному использованию кадрового потенциала общества.

Мурманская область – уникальный арктический регион с точки зрения ее геополитического и геоэкономического положения, роли в обеспечении обороноспособности страны, запасов природных ресурсов. Область характеризуется исторически сложившимся небольшим числом развитых (регионообразующих) отраслей (минерально-сырьевая база – горнопромышленный комплекс, рыбопромысловая база, оборонно-промышленный комплекс, энергетика), наличием градообразующих предприятий [1]. Для обеспечения кадровой безопасности региона необходимо подготавливать и распределять трудовые ресурсы так, чтобы они обеспечивали кадровые потребности различных отраслей.

Торговля – одна из крупнейших отраслей экономики любой страны, как по числу занятых в ней людей, так и по объему деятельности и вкладу в общий экономический потенциал. Мурманская область обладает развитой торговой сетью, включающей 3398 торговых предприятий общей площадью 440,6 тыс. кв. м. и 842 предприятия общественного питания на 55 тыс. мест; 47,4% торговых предприятий специализируются на торговле промышленными товарами, 43,7 – продуктами питания и 8,9% – смешанными товарами (2006). Получили развитие сети торговли крупных торговых фирм:

"Сейд", "Евророс", "Техношок", "Эксперт", "Рамстор", "Эльдорадо", "Провизион" и др. [2].

Рассмотрим создание имитационной модели кадровой потребности на примере торговой отрасли Мурманской области. Так как целью создания такой модели является проследить динамику потребности в кадрах для отрасли, то были выделены следующие основные составляющие модели:

- «Предприятия» - имитируется процесс создания и ликвидации предприятий в торговой отрасли;
- «Рабочие места» - предназначена для имитации возникновения и ликвидации рабочих мест в отрасли (т.е. с помощью этого блока можно проследить динамику вакантных рабочих мест);
- «Занятость» - отвечает за имитацию динамики численности занятых в торговой отрасли.

Математическая модель

Динамику численности предприятий, вакантных рабочих мест и занятых в торговой отрасли можно описать обыкновенными дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned}\frac{dPr}{dt} &= V - L, \\ \frac{drmt}{dt} &= voz - lik, \\ \frac{dZt}{dt} &= prin - ush,\end{aligned}$$

где Pr - количество имеющихся предприятий торговой отрасли,

V - количество возникших предприятий,

L - количество ликвидированных предприятий,

rmt - количество рабочих мест в торговой отрасли,

voz - количество возникших рабочих мест,

lik - количество ликвидированных рабочих мест,

Zt - количество людей, занятых в торговле,

$prin$ - количество людей, принятых на работу в торговой отрасли,

ush - количество людей, ушедших с работы из торговой отрасли.

На возникновение и ликвидацию предприятий в торговой отрасли влияют численность экономически активного населения (EAN), прибыль предприятий (pr), доход населения (dn), а также число уже имеющихся предприятий (Pr). Следовательно, эти элементы модели можно описать следующими зависимостями:

$$V = f(EAN, dn, Pr, pr),$$

$$L = g(EAN, dn, Pr, pr).$$

Для вычисления этих показателей были построены уравнения линейной множественной регрессии [3].

Возникающие предприятия:

$$V = 158.033 - 3.825 \cdot 10^{-4} EAN + 2.305 \cdot 10^{-3} dn + 0.055 Pr + 2.566 \cdot 10^{-10} pr.$$

Ликвидированные предприятия:

$$L = 523.594 - 4.278 \cdot 10^{-4} EAN + 1.586 \cdot 10^{-3} dn - 0.107 Pr - 6.374 \cdot 10^{-8} pr.$$

Новые вакантные места могут возникнуть при создании новых предприятий и за счет увольнения работников по разным причинам, следовательно, возникновение новых рабочих мест описывается следующим уравнением:

$$voz = V \cdot scr + p + uh + um + uv,$$

где scr - среднее число рабочих на предприятии торговой отрасли,

p - число людей, ушедших с работы в торговой отрасли по причине пенсионного возраста,

uh - число людей, ушедших с работы в торговой отрасли по причине переезда,

um - число умерших в трудоспособном возрасте людей, при жизни работавших в торговой отрасли,

uv - число людей, уволенных с работы.

Причинами сокращения рабочих мест могут быть как ликвидация предприятий, так и принятие на свободные рабочие места работников, поэтому ликвидация рабочих мест описывается уравнением:

$$lik = L \cdot scr + prin,$$

где scr - среднее число рабочих на предприятии торговой отрасли,

$prin$ - число людей, принятых на работу в торговой отрасли.

Число работников ушедших на пенсию, вычисляется как доля от общего числа пенсионеров области (vp):

$$p = k_p \cdot vp.$$

Аналогично вычисляется количество уволенных по причине смерти:

$$um = k_u \cdot utv,$$

где utv – общее число умерших в трудоспособном возрасте по области.

Число уволенных по причине переезда описывается следующим выражением:

$$uh = \frac{Em}{N} \cdot Zt \cdot k_{em},$$

где Em - число людей, эмигрировавших из области, N – общая численность населения области, Zt - количество людей, занятых в торговле, k_{em} - доля уехавших из области, работавших в торговой отрасли.

На свободные рабочие места (rmt) принимаются люди из числа безработных (vb), способных работать в данной отрасли ($bezr$). Они могут занять все рабочие места, если их число превышает эту величину:

$$prin = \begin{cases} rmt, & \text{если } rmt \leq bezr, \\ bezr, & \end{cases}$$

$$bezr = k_{torg} \cdot vb,$$

где k_{torg} – доля людей способных работать в торговой отрасли.

Системно-динамическая модель

На основе описанной математической модели была создана системно-динамическая модель в среде Powersim. Реализация основных блоков модели рассматривается ниже.

На рис. 1 представлен блок «Предприятия» модели, основными элементами которого являются уровень Predpr (количество предприятий торговой отрасли Мурманской области), регулируемый потоками vozn (количество

возникших предприятий) и likv (количество ликвидированных предприятий). Эти потоки вычисляются через переменные EAN (численность экономически активного населения), dohod_nas (доходы населения) и pribyl (прибыль предприятий).

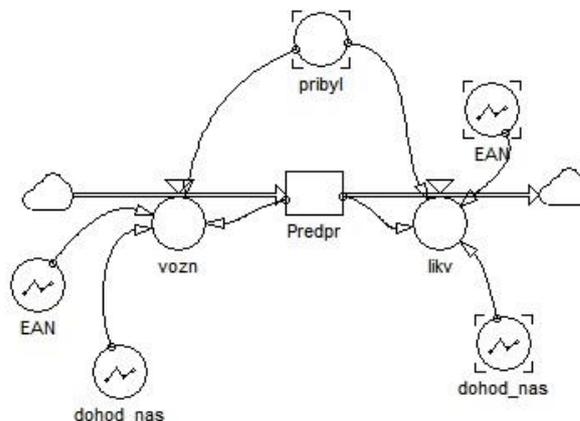


Рис. 1. Блок «Предприятия» системно-динамической модели

Блок «Рабочие места» представлен на рис. 2. Основными элементами этого блока являются уровень r_mesta_torg (количество рабочих мест в торговой отрасли), потоки $voznik$ (количество возникших рабочих мест) и $likvid$ (число ликвидированных рабочих мест). Также здесь используются переменные $vozn$ и $likv$, которые вычисляются в блоке «Предприятия», $pens$ (число людей, уволившихся по причине выхода на пенсию), ueh (число людей, уволившихся по причине переезда в другой регион), $umer$ (число умерших людей, которые при жизни работали в торговой отрасли), $uvol$ (число уволенных с работы по другим причинам), $prin$ (число людей, принятых на работу), вычисляемые в блоке «Занятость».

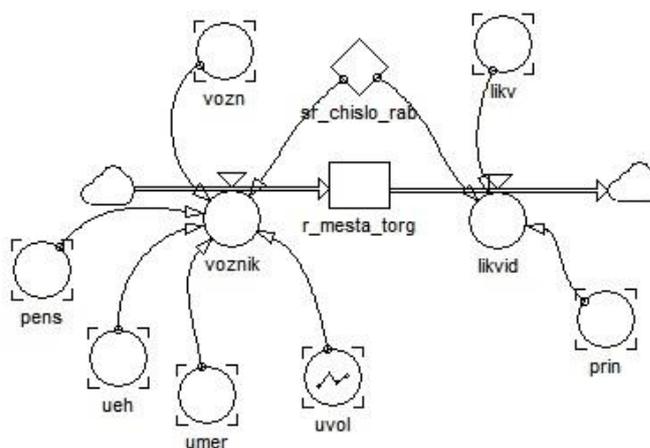


Рис. 2. Блок «Рабочие места» системно-динамической модели

Блок «Занятость» представлен на рис. 3. Основными элементами этого блока являются уровень *Zanyat_torg* (численность людей, занятых в торговой отрасли в Мурманской области) и потоки *prin* (численность людей, принятых на работу), *ushli* – общая численность уволившихся людей), также здесь используются вспомогательные переменные *bezrab* (количество безработных, которые могут работать в торговой отрасли), *vse_bezr* (общее число безработных по Мурманской области), *pens* (число людей, которые уволились с работы по причине наступления пенсионного возраста), *ueh* (число людей, уволившихся с работы по причине переезда в другой регион), *umer* (число умерших людей, которые при жизни работали в торговой отрасли), *uvol* (число уволенных с работы по причинам не перечисленным выше), *vse_pens* (общее число пенсионеров по Мурманской области), *Nasel* (численность населения области), *emigr* (численность эмигрировавшего населения), *um_trud_vozr* (общая численность людей, умерших в трудовом возрасте), *r_mesta_torg* (количество рабочих мест в торговой отрасли).

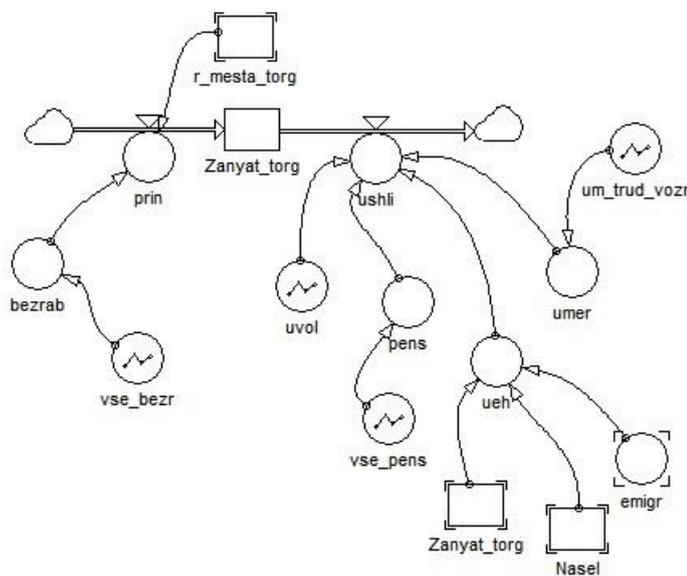


Рис. 3. Блок «Занятость» системно-динамической модели

Для модели использованы данные из статистических сборников и информации, опубликованной на официальном сайте территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области [4-9], и дают возможность проверить адекватность модели трудовых ресурсов торговой отрасли, путем сравнения статистических и полученных результатов.

Заключение

Проверка адекватности показала отклонение от статистических данных в среднем на 4 % по следующим параметрам: общее количество предприятий, количество возникших и ликвидированных предприятий, количество рабочих мест, количество людей, занятых в торговой отрасли, количество уволившихся людей, а также количество людей, принятых на работу.

Представленная системно-динамическая модель позволяет проследить динамику изменения потребности в кадрах в торговой отрасли региона, поэтому ее можно использовать в качестве одной из составляющих модели кадровой безопасности региона.

Литература

1. Маслобоев, А.В., Путилов, В.А. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета. - Мурманск: МГТУ. -2011. - Т.14, №4. - С.842-853.
2. Глинский, В.В., Ионин, В.Г. Статистический анализ: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.В. Глинский, В.Г. Ионин,– М.: ИНФРА-М; Новосибирск: Сибирское соглашение, 2002 – 241 с.
3. Кольская энциклопедия: Транспорт, связь, торговля, таможенное дело. - Режим доступа: <http://kolaenc.gov-murman.ru/economic/transport/>
4. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Режим доступа: <http://murmanskstat.gks.ru/>
5. Статистический сборник “Мурманская область в цифрах”, 2008: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области - Мурманскстат, 2009. – 155 с.
6. Статистический ежегодник, 2008: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области - Мурманскстат, 2009. – 247 с.
7. Статистический ежегодник, 2009: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области - Мурманскстат, 2010. – 261 с.
8. Статистический ежегодник, 2010: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области - Мурманскстат, 2011. – 246 с.
9. Статистический ежегодник, 2011: Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области - Мурманскстат, 2012. – 239 с.

Сведения об авторах

Малыгина Светлана Николаевна - к.т.н., научный сотрудник,
доцент кафедры бизнес-информатики КФ ПетрГУ,
e-mail: malygina@iimm.kolasc.net.ru

Malygina Svetlana – Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher, Associate professor

Менькова Анастасия Александровна – студентка 4 курса факультета ИПМ
КФ ПетрГУ,
e-mail: menkoffka@rambler.ru

Menkova Anastasiya – Student

УДК 004.94

Ж.В. Логинова¹, Д.Н. Халиуллина²

¹ Кольский филиал ПетрГУ

² ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН

РАЗРАБОТКА СИСТЕМО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАДРОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В работе рассматривается моделирование кадровой потребности горнодобывающей отрасли Мурманской области. Представлен процесс построения математической модели, применение регрессионного анализа для выявления функциональных зависимостей и системно-динамическая модель кадрового обеспечения.

Ключевые слова:

кадровая потребность, регрессионный анализ, системно-динамическая модель.

Z.V. Loginova, D.N. Khaliullina

DEVELOPING SIMULATION MODEL OF RECRUITMENT NEEDS IN MINING INDUSTRY - EVIDENCE FROM MURMANSK REGION

Abstract

The article describes developing models of recruitment needs in mining industry in Murmansk region. Developing mathematical model, using regression analysis to set different functions and simulation model of staff in such industry are observed.

Key words:

recruitment needs, regression analysis, simulation model.

Введение

Стремительное развитие экономики страны приводит к ситуациям, когда в некоторых областях возникает дефицит кадров на многие специальности, а в других – перенасыщение. Эти процессы приводят к возникновению безработицы, и основной проблемой становится задача прогнозирования кадровой потребности региона.

Мурманская область является регионом, экономика которого напрямую зависит от развития горнодобывающей отрасли, и главной особенностью данного региона является наличие моногородов, в которых проживает около трети населения области.

Кадры горнодобывающей промышленности являются активной частью производственных сил, и от степени их подготовки, компетенции, оптимальности расстановки на производстве, уровня организации и стимулирования их труда зависит эффективность работы каждого предприятия и отрасли в целом, поэтому задача прогнозирования кадровой потребности именно этой отрасли имеет принципиальное значение.

Построение математической модели

Анализ горнодобывающей отрасли, а также различных экономических и социальных показателей позволил выделить основные параметры и определить их зависимость от других элементов математической модели.

- Pr - количество имеющихся предприятий горнодобывающей отрасли:

$$\frac{dPr}{dt} = MVP - MPL,$$

где MVP - количество возникших малых предприятий;

MPL - количество ликвидированных малых предприятий*.

- N - численность населения:

$$\frac{dN}{dt} = Im - Em + R - S,$$

где Im - иммиграция населения;

Em - эмиграция населения;

R - рождаемость;

S - смертность.

- rmt - количество вакантных рабочих мест в горнодобывающей отрасли:

$$\frac{d(rmt)}{dt} = voz - likv,$$

где voz - число возникших рабочих мест;

$likv$ - число ликвидированных рабочих мест.

- Z - количество людей, занятых в горнодобывающей отрасли:

$$\frac{dZ}{dt} = prin - ush,$$

где $prin$ - число принятых на работу людей;

ush - число людей, ушедших с работы.

Сложность исследования предметной области приводит к тому, что для некоторых параметров модели невозможно с точностью указать функциональную зависимость от других элементов. Одним из эффективных методов моделирования и прогнозирования, который позволяет определить динамику отдельных показателей во взаимосвязи друг с другом, является регрессионный анализ [1].

Основной целью регрессионного анализа является необходимость установить конкретную аналитическую зависимость одного или нескольких результативных показателей от одного или нескольких признаков-факторов.

В работе в качестве метода оценивания параметров регрессии применяется метод наименьших квадратов, поскольку он дает вполне эффективные оценки, которые являются линейными функциями от наблюдаемых значений.

* Рассматриваются только малые предприятия, поскольку анализ статистических данных показал, что за последние десятилетия динамика среди крупных и средних предприятий не прослеживалась.

Исходной информацией для обработки явились данные демографической статистики о численности населения Мурманской области, а также сведения Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области о среднегодовой численности работающих, о численности занятых по видам экономической деятельности и другие данные с 2005 по 2011 год [2-7].

Анализ статистических данных и регрессионный анализ позволили определить вид функциональной зависимости следующих параметров модели:

- Количество возникающих малых предприятий. Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях, добычи полезных ископаемых и количества предприятий

$$MVP = f_1(Ob, dpu, pr),$$

$$MVP = 0.117 + 5.895 \cdot 10^{-3} \cdot Ob - 1.432 \cdot 10^{-5} \cdot dpu + 0.072 \cdot pr,$$

где Ob - оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;

dpu - добыча полезных ископаемых;

pr - количество малых предприятий.

- Количество ликвидированных малых предприятий. Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях, добычи полезных ископаемых и количества предприятий

$$MLP = f_2(Ob, dpu, pr),$$

$$MVP = 0.369 + 1.585 \cdot 10^{-3} \cdot Ob + 3.056 \cdot 10^{-5} \cdot dpu - 7.767 \cdot pr,$$

где Ob - оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;

dpu - добыча полезных ископаемых;

pr - количество малых предприятий.

- Возникающие рабочие места на крупных предприятиях. Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях и добычи полезных ископаемых

$$vrm_kr_pr = f_3(Ob, dpu),$$

$$vrm_kr_pr = 2.152 \cdot 10^3 - 0.073 \cdot Ob + 0.092 \cdot dpu,$$

где Ob - оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;

dpu - добыча полезных ископаемых.

- Ликвидированные рабочие места на крупных предприятиях. Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях и добычи полезных ископаемых

$$lrm_kr_pr = f_4(Ob, dpu),$$

$$lrm_kr_pr = 1.956 \cdot 10^3 - 0.029 \cdot Ob + 0.043 \cdot dpu,$$

где Ob - оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;

dpu - добыча полезных ископаемых.

Коэффициент корреляции, который позволяет выяснить степень связанности элементов, по каждому из параметров имеет следующее значение:

- по возникающим рабочим местам на крупных предприятиях $r = 0.775$;
- по ликвидированным рабочим местам на крупных предприятиях $r = 0.634$;
- по количеству возникающих малых предприятий $r = 0.421$;
- по количеству ликвидированных малых предприятий $r = 0.71$.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что все рассмотренные показатели имеют тесную корреляционную связь. Это дает возможность использовать полученные зависимости для построения системно-динамической модели кадровой потребности горнодобывающей отрасли на примере Мурманской области.

Построение системно-динамической модели

Условно модель можно разделить на несколько блоков, которые отражают направленность каждого элемента:

- Население области. К основным задачам блока относятся: моделирование динамики изменения общей численности населения, учет рождаемости, смертности, иммиграции и эмиграции населения, а также количества рабочих мест по Мурманской области во всех отраслях и другие параметры.

- Население, занятое в горнодобывающей отрасли. В данном блоке оценивается численность населения, которое работает в рассматриваемой отрасли, количество безработных, принятых на работу, уволенных по различным причинам, а также количество рабочих мест в горнодобывающей отрасли и др.

- Рабочие места горнодобывающей отрасли. Данный блок отражает количество возникших, ликвидированных, а также вакантных рабочих мест рассматриваемой отрасли, количество принятых, ушедших с работы людей по различным причинам, а также среднее число рабочих на предприятии горнодобывающей отрасли и др.

- Рабочие места крупных предприятий горнодобывающей отрасли. Данный блок включает в себя следующие параметры: добыча полезных ископаемых, их оборот, количество возникших и ликвидированных рабочих мест на крупных предприятиях области, и количество данных предприятий.

Общий вид системно-динамической модели представлен на рис. 1.

Для повышения уровня доверия к результатам моделирования были проведены процедуры верификации, в ходе которых были проверены логические взаимосвязи для подтверждения верности логической структуры разработанной модели. Верификация производилась с имеющимися фактическими данными [2-7].

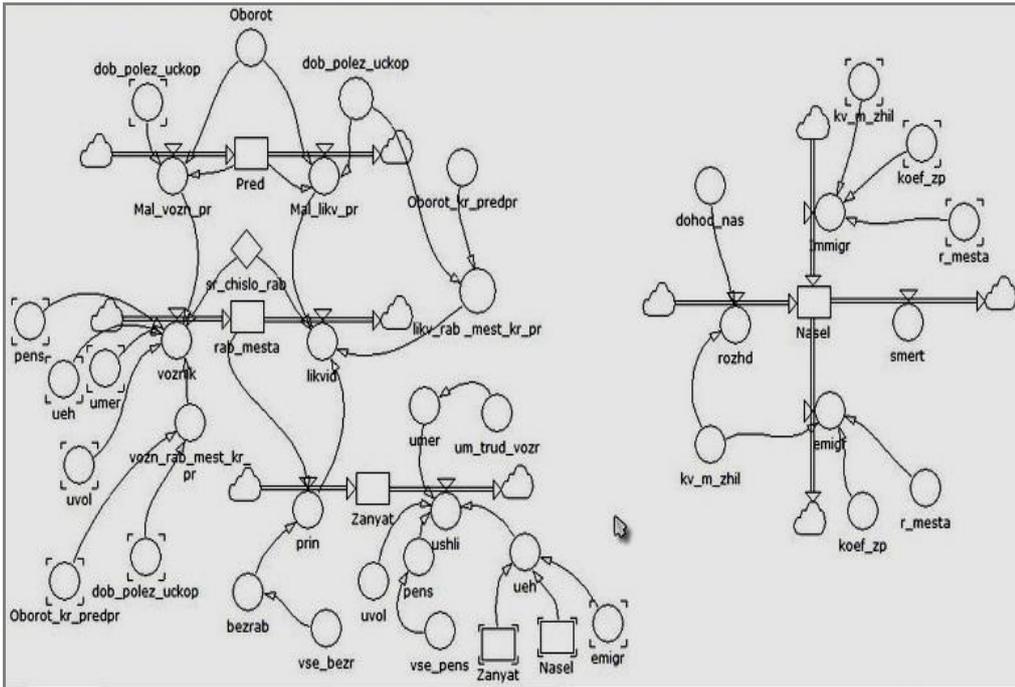


Рис. 1. Системно-динамическая модель кадровой потребности горнодобывающей отрасли

Результаты сравнения фактических данных и результатов, полученных по модели по следующим параметрам: возникшие рабочие места, ликвидированные рабочие места, занятые рабочие места представлены на рис. 2, 3, 4.

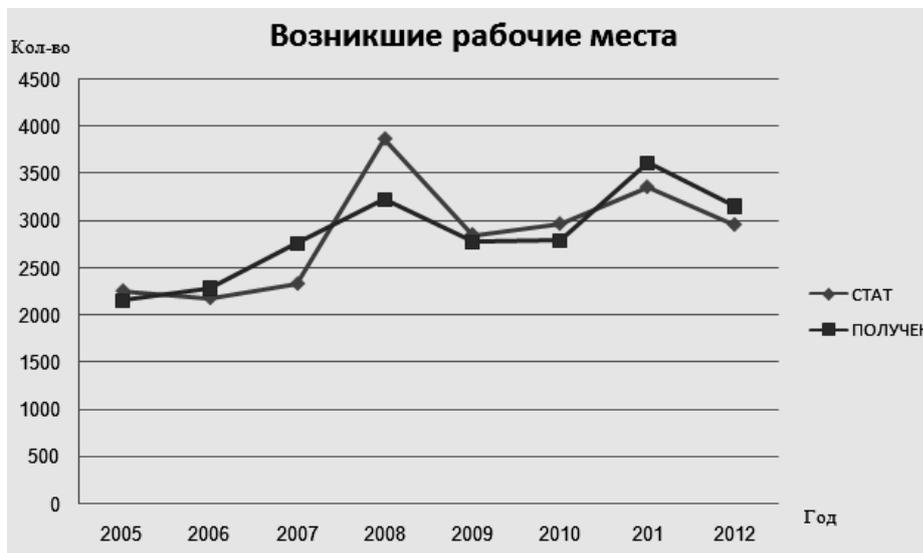


Рис. 2. Сравнение результатов моделирования с фактическими данными по показателю «Возникшие рабочие места»



Рис. 3. Сравнение результатов моделирования с фактическими данными по показателю «Ликвидированные рабочие места»

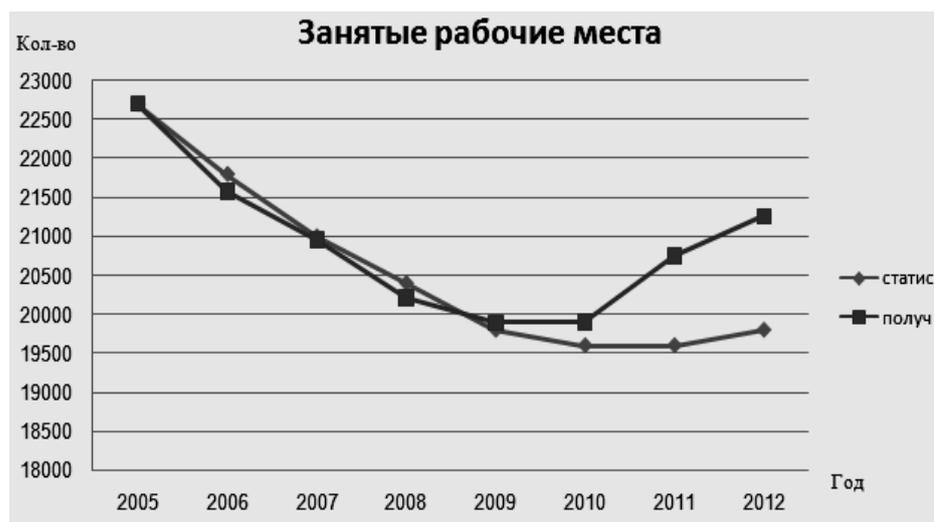


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования с фактическими данными по показателю «Занятые рабочие места»

Анализ представленных данных показывает, что моделирование в целом воспроизводит фактические результаты. В первом случае средняя ошибка отклонения составляет 7,4%, во втором - 7,3%, в третьем - 3,7%. По результатам проведения процедур верификации был сделан вывод о том, что поведение модели, в целом, согласуется с экспертными представлениями о предметной области и модель имеет верную логическую структуру. Поэтому ее можно использовать для прогнозирования и сценарного анализа поведения сложной системы кадровой потребности региона.

Заключение

Исследование предметной области и применение регрессионного анализа позволили построить математическую и системно-динамическую модели кадрового обеспечения горнодобывающей отрасли. Результаты проверки адекватности модели (проверки абсолютной и относительной погрешности) показали, что данные отличаются в среднем на 6%, что является хорошим показателем, и дает возможность в будущем использовать полученные модели для прогнозирования кадровой потребности горнодобывающей отрасли Мурманской области.

Литература

1. Глинский, В.В. Статистический анализ / В.В. Глинский, В.Г. Ионин // Учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 241 с.
2. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Режим доступа: <http://murmanskstat.gks.ru/>
3. Статистический сборник “Мурманская область в цифрах”, 2008. / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области / Мурманскстат, 2009. – 155 с.
4. Статистический ежегодник, 2008 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области / Мурманскстат, 2009. – 247 с.
5. Статистический ежегодник, 2009 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области / Мурманскстат, 2010. – 261 с.
6. Статистический ежегодник, 2010 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области / Мурманскстат, 2011. – 246 с.
7. Статистический ежегодник, 2011 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области / Мурманскстат, 2012. – 239 с.

Сведения об авторах

Логина Жанна Владимировна – студентка 4 курса ИПМ КФ ПетрГУ,
e-mail: loginova_zhannochka@mail.ru
Zhanna V. Loginova - Student

Халиуллина Дарья Николаевна – младший научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.kolasc.net.ru
Darya N. Khaliullina - Junior researcher

УДК 004.91, 378.1

В.В. Белош¹, В.В. Быстров^{2,3}, С.В. Дмитриев³

¹ Чистопольский филиал "Восток" Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева

² ФГБУН Институт информатики и математического моделирования Кольского НЦ РАН

³ Кольский филиал ПетрГУ

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТОВ ПРИЕМНОЙ КОМИССИИ ВУЗА

Аннотация

Рассматривается разработка программного модуля на основе современных веб-технологий, способного автоматизировать сбор заявлений абитуриентов и хранить их персональную информацию, для дальнейшего построения списков предварительного зачисления, на базе приемной комиссии КФ ПетрГУ.

Ключевые слова:

автоматизация, приемная комиссия, абитуриент.

THE SOFTWARE MODULE OF AUTOMATED DOCUMENT PROCESSING STUDENTS ADMISSION COMMISSION

Abstract

Development of software module based on modern web-technology, that can automate the enrollees applications collection and storage their personal information for the further construction of the pre-enrollment list, on the basis of the Kola Branch of Petrozavodsk State University admission committee.

Key words:

automation, admission committee, enrollee.

Введение

Любая деятельность человека, связанная с обработкой информации, представленной на бумажных носителях, сопровождается рядом трудностей, например, такими как: проблема хранения, проблема физического износа, проблема извлечения информации и т.д. Для решения такого рода проблем в последние десятилетия успешно применяются информационные технологии и вычислительная техника. Этот процесс проявляется себя в виде разработки различного рода прикладных информационных систем: систем автоматизации документооборота, информационных систем поддержки управления предприятием, систем поддержки принятия решения и других.

Рациональное внедрение программных систем в деятельность подразделения, как правило, позволяет повысить оперативность и достоверность получаемой информации, сократить время на текущий сбор и обработку информации, что приводит к высвобождению рабочего времени рядовых сотрудников для более качественного и продуктивного выполнения своих функций.

Основные аспекты деятельности приемной комиссии вуза

Во время проведения приемной кампании сотрудникам вуза приходится работать с большим потоком бумажных носителей информации: заявлениями и сопровождающих их документами, что в целом негативно сказывается на

производительности труда [1]. Для автоматизации рутинных операций с данными и документами сотрудника приемной комиссии вуза необходимо разрабатывать специализированные программные средства, которые позволят снизить вероятность появления ошибки за счет минимизации влияния человеческого фактора на процессы обработки и оперирования данными.

Во время проведения приемной кампании ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» Кольского филиала (КФ ПетрГУ) сотрудники приемной комиссии обычно выполняют следующие действия:

- принимают от абитуриента заполненное от руки заявление и копии документов;
- при получении каждого нового заявления ему присваивают идентификационный номер;
- после этапа сбора заявлений каждое из них сканируется и, с помощью имеющегося программного обеспечения, вся персональная информация заносится в базу данных (БД);
- производят процесс зачисления в автоматизированном режиме;
- формируют приказы зачисления;
- формируют дела зачисленных студентов для передачи в студенческий отдел кадров вуза.

В соответствии с правилами приема в вуз, действующими в 2013 году, процесс зачисления сводится к выполнению следующих шагов:

- В таблицах БД для каждой из возможных специальностей или направления подготовки формируются предварительные списки зачисления и ранжируются по суммарному балу по определенному предмету.
- Производится цикличное отсеивание абитуриентов с приоритетом выше «единицы», членом приемной комиссии вручную.
- После получения оригиналов документов, конкретной записи присваивается метка «подлинник». Абитуриенты, не предоставившие оригиналов документов, исключаются из списков, в результате чего высвобождаются новые места, что требует повторного выполнения действий, проделанных на втором этапе.

В результате проведения всех трех этапов формируются окончательные списки зачисленных.

Описание действующей информационной системы поддержки приемной кампании вуза.

В настоящее время, приемной комиссией КФ ПетрГУ используется унитарная программная система по учету и обработке заявлений абитуриентов. Она включает в себя:

ABBY FormReader 6.0 - система ввода форм, заполненных от руки или на принтере, с применением технологии ICR (Intelligent Character Recognition).

Программа ENRANTS, позволяющая:

- формировать списки зачисления, по указанным абитуриентами приоритетам;
- фильтровать списки с учетом наличия подлинников документов абитуриента и окончательного прохождения по выбранной специальности.

С ростом требований Министерства образования и науки РФ к организации и информационному сопровождению приемной кампании вузами возникла необходимость расширения спектра решаемых задач используемого в настоящее время программного обеспечения. Данное расширение было принято реализовать в виде отдельного программного модуля, интегрированного в существующее программное решение за счет использования единой БД.

Учитывая пожелания членов приемной комиссии, было решено добавить возможность удаленного заполнения заявлений на поступление и построения списков предварительного зачисления, без использования программ по распознаванию текстов.

Реализация программного модуля

Для хранения накапливаемой, на этапе сбора заявлений абитуриентов информации была доработана база данных с учетом возможности внесения данных с веб-ресурсов, в частности, с корпоративного сайта КФ ПетрГУ.

База данных состоит из пяти таблиц, содержащих персональные данные поступающих. Все поля таблиц атомарны и каждая запись в таблице уникальна, благодаря уникальному идентификатору FileID – номер дела.

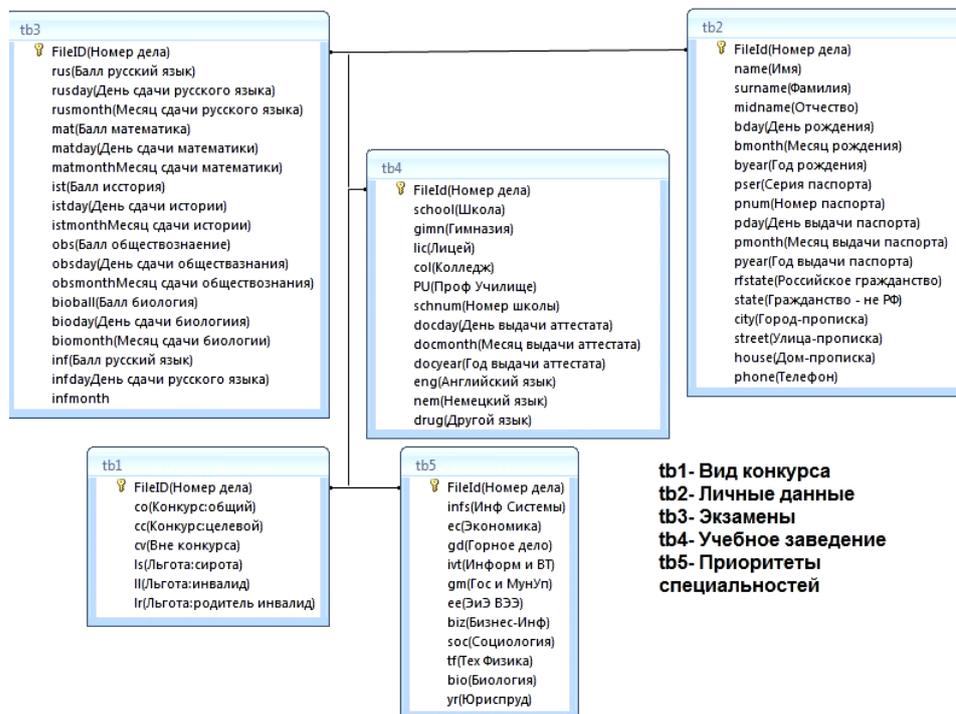


Рис. 1. Концептуальная схема базы данных абитуриентов

Для оперирования с БД была разработана веб-страница, которую планируется интегрировать с корпоративным сайтом. Интерфейс веб-страницы предельно прост и не содержит никакой мультимедийной нагрузки, что позволяет пользователю не рассеивать внимание на лишних элементах, а сосредоточиться на выполнении конкретных действий. Чтобы обеспечить

возможность документирования информации, была разработана версия страницы для печати. Для реализации версии для печати были использованы средства CSS (Cascading Style Sheets – каскадные таблицы стилей).

Для проведения процесса зачисления был разработан программный модуль, который может использоваться вместо или параллельно с другими компонентами уже существующей информационной системы. Программный модуль разработан в среде программирования Delphi, входящей в интегрированный пакет разработки приложений BDS 2006. Он обладает предельно простым пользовательским интерфейсом (рис. 2) и достаточным функционалом для решения поставленных задач.

В качестве основных функций разработанного программного модуля можно выделить следующее:

- импорт/экспорт данных из/в БД информационной системы с возможностью задания критериев различного вида;
- формирование списков рекомендованных к зачислению по каждому направлению подготовки и специальности с возможностью вывода на печать;
- подготовка данных в нужном формате и передача другим компонентам информационной системы поддержки деятельности приемной комиссии вуза.

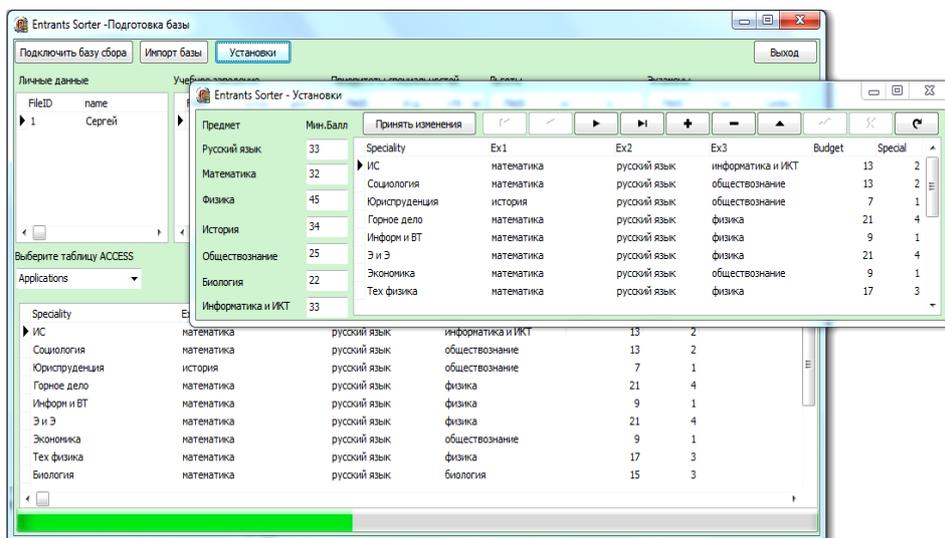


Рис. 2. Интерфейс разработанного программного модуля

Процесс работы приемной комиссии на этапе сбора заявлений, при использовании компонентов разработанной системы, может быть представлен в виде последовательности следующих действий:

- абитуриент подает все необходимые документы сотруднику приемной комиссии, который заполняет данными форму на веб-странице;
- производится документирование формуляра для выдачи одной копии абитуриенту и передачи в архив другой;
- содержимое формы отправляется на сервер для занесения в базу данных;
- с каждым новым отправленным заявлением генерируется уникальный

идентификационный номер, обеспечивающий связь между таблицами, содержащими классифицированную персональную информацию об абитуриенте.

После проведения процедуры сбора заявлений администратор разработанного приложения «Entrants Sorter», должен:

- произвести авторизованное подключение к серверу СУБД MySQL.
- ввести некоторые установки: минимальные баллы по дисциплинам, количество бюджетных и льготных мест, и необходимые экзамены для поступления на ту или иную специальность.
- запустить импорт базы данных.

В результате проведения вышеперечисленных процедур будет сгенерирована база данных формата MySQL, содержащая:

- персональную информацию об абитуриентах;
- таблицы специальностей и направлений подготовки, заполненные в зависимости от выставленных абитуриентами приоритетов;
- суммарные баллы абитуриентов по экзаменам, необходимым для каждой выбранной специальности или направления подготовки.

Заключение

В статье представлены основные результаты по автоматизации документооборота приемной комиссии вуза на примере КФ ПетрГУ. Разработанный программный модуль интегрируется в уже существующую информационную систему и позволяет автоматизировать рабочее место сотрудника приемной комиссии вуза.

В ближайшем будущем планируется продолжить работу в данном направлении, добавив возможность подачи заявления электронным способом самим абитуриентом. Но данный вопрос требует дополнительной проработки и исследований, т.к. связан с проблемами идентификации личности и защитой персональных данных.

Литература

1. Игнатовский, А.Н. Автоматизация документооборота приемной комиссии вуза на базе применения современных Интернет-технологий / А.Н. Игнатовский // Надежность и качество: труды международного симпозиума. - Пенза. - 2010. - С.145-146.

Сведения об авторах

Белош Виктор Владимирович - к.т.н., доцент компьютерных и телекоммуникационных систем, e-mail: bvv1950@mail.ru

Viktor V. Belosh - Ph.D. (Eng.), Associate professor the chair of computer and telecommunication systems

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., научный сотрудник, доцент, e-mail: bystrov@iimm.kolasc.net.ru

Vitaliy V. Bystrov- Ph.D. (Tech. Sci.), Researcher, Associate professor

Дмитриев Сергей Владимирович – студент 5 курса ИПМ КФ ПетрГУ, e-mail: dsvofficialmail@mail.ru

Sergey V. Dmitriev – Student

Научное издание

ТРУДЫ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
Выпуск 4

Редактор С.Н. Малыгина
Технический редактор С.И. Мигулян

Подписано к печати 12.12.2013
Формат бумаги 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic
Усл. печ. л. 27.2. Заказ № 50. Тираж 400 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14