



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

5/2014 (24)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 5

Апатиты
2014

5/2014(24)

издается с декабря 2010 г.

УДК 621.314

ISSN 2307-5252

ISBN 978-5-91137-284-2

Российская Академия Наук
ТРУДЫ

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,
чл.-корр. В.К. Жиров,
чл.-корр. А.И. Николаев,
д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,
д.т.н. Б.В. Ефимов,
д.э.н. Ф.Д. Ларичкин,
д.т.н. В.А. Маслобоев,
д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов
(ответственный секретарь)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**
ВЫПУСК 5

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, г. Апатиты Мурманская область, ул. Ферсмана, д.14
Кольский научный центр РАН
Тел. (81555)79393, 79380. Факс (81555)76425
E-mail: admin@apatitu.ru <http://www.kolasc.net.ru>

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт информатики и математического моделирования технологических
процессов Кольского научного центра Российской академии наук, 2014
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук, 2014

Серия «Информационные технологии» представляет результаты исследований и разработок в области создания и развития методов, моделей, информационных технологий и систем поддержки решения задач в широком спектре областей деятельности. Работы выполнялись в рамках государственных заданий и целевых программ, а также при поддержке грантов РФФИ. Большинство исследований проводилось при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского университета.

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
А.В. Маслобоев В.А. Путилов Модели и методы формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью арктических регионов России.....	10
А.С. Шемякин И.О. Датьев Связь в северных регионах Российской Федерации	27
И.О. Датьев Развитие инфотелекоммуникационных систем арктических территорий	41
А.А. Павлов И.О. Датьев Протоколы маршрутизации в беспроводных сетях	64
И.О. Датьев Модели перемещения сетевых узлов для исследования протоколов маршрутизации мобильных самоорганизующихся сетей	76
В.В. Диковицкий М.Г. Шишаев Об оптимальной навигационной структуре интерфейсов информационных систем	95
М.Г. Шишаев В.В. Диковицкий Технология синтеза адаптивных пользовательских интерфейсов для мультипредметных информационных систем	101
П.А. Ломов М.Г. Шишаев Е.Ю. Данилов Визуализация на основе когнитивных фреймов для передачи знаний	109
А.В. Вицентий Разработка механизмов виртуальной интеграции разнородных информационных ресурсов в системах информационно-аналитической поддержки управления территориями.....	121
О.В. Фридман Применение градиентного метода координации для решения задачи оперативного управления объектами различной структуры	128
Р.А. Македонов А.А. Зуенко О.В. Фридман Алгоритм синхронизации нерегулярных процессов в системе ситуационного концептуального моделирования	136
А.А. Зуенко Алгебраическая модель вопросно-ответного диалога для построения индивидуальной траектории обучения	150

А.А. Зуенко А.А. Алмамамов	Программирование в ограничениях на языке Python с применением структур и алгоритмов алгебры кортежей	158
А.В. Харитонов А.Г. Олейник	Метод определения границы зрачка на изображении глаза	171
С.Ю. Яковлев Ю.А. Олейник А.С. Шемякин	Локальная информационная система нормативно-методического обеспечения исследований	178
Д.Н. Халиуллина	Краткий обзор современных средств мониторинга сложных социально-экономических систем региона	185
Д.Н. Халиуллина С.Н. Малыгина, А.А. Менькова	Разработка имитационной модели для оценки количества выпускников вузов и ссузов Мурманской области	196
А.А. Рыженко	Механизм моделирования сколов и осколков разрушенных объектов сложной формы	204
А.Г. Олейник В.Ф. Скороходов В.В. Бирюков	Алгоритм функционирования блока автоматизированного выбора топологии технологической схемы обогащения минерального сырья	215
И.Е. Кириллов И.Н. Морозов	Подход к созданию адаптивной модели технологического процесса с целью осуществления оперативно-предупреждающего управления	221
А.А. Туз В.Н. Богатиков	Построение системы адаптивного управления процессом измельчения апатито-бадделеитового концентрата участка подготовки питания флотации ОАО «Ковдорский ГОК»	226
М.С. Хохуля А.В. Фомин	CFD моделирование разделения минеральных частиц в гидравлическом сепараторе с наклонными пластинами	239
В.Ф. Скороходов Р.М. Никитин	Использование вычислительного эксперимента для Исследования флотационного разделения минералов	246
С.А. Козырев В.Ф. Скороходов Р.М. Никитин П.В. Амосов В.В. Массан	CFD метод в компьютерных технологиях как инструмент исследования аэродинамики глубоких карьеров	251

Russian Academy of Sciences
transactions

5/2014(24)

Published since 2010

UDC 621.314

ISSN 2307-5252

ISBN 978-5-91137-284-2

Kola Science Centre

Editor – Academician V.T. Kalinnikov

Deputy editor in chief:
Doctor of Geology and Mineralogy V.P. Petrov
Prof., Dr. of Sciences, V.A. Putilov

Editor Council:

Academicians:

G.G. Matishov, N.N. Melnikov
Corresponding Member of RAS:

V.K. Zhiron, A.I. Nikolaev.

Dr. of Sciences:

Yu.L. Voitekhovskiy, F.D. Larichkin,
V.A. Masloboev, E.D. Tereshchenko,
Ph.D. A.N. Vinogradov (executive secretary)

**INFORMATION
TECHNOLOGIES**
series 5

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
Tel. (81555)79393, 79380. Fax: (81555)76425
E-mail: admin@admksk.apatitu.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, 2014
© The Branch of Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 2014

The series "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. Works were performed within the framework of governmental assignments and target programs, as well as with the support of RFBR grants. Most of studies have been conducted with the active participation of staff and students of the Faculty of Informatics and Applied Mathematics of the Kola Branch of Petrozavodsk State University.

The series 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 specialists at the higher educational establishments.

CONTENTS

		Page
	Introduction	9
V.A. Putilov A.V. Masloboev	Development of cognitive models and methods for integrated information environment formation for arctic region safety management support of russian federation	10
A.S. Shemyakin I.O. Datyev	Telecommunication of russian federation northern areas	27
I.O. Datyev	The development infocommunication systems of the arctic areas	41
A.A. Pavlov I.O. Datyev	Routing protocols in wireless networks	64
I.O. Datyev	Spatial objects movements models for mobile ad hoc networks routing protocols testing	76
V.V. Dikovitsky M.G. Shishaev	On an optimal navigation structure of information system's user interfaces	95
M.G. Shishaev V.V. Dikovitsky	Technology for synthesis of adaptive user interfaces of multisubject information systems	101
P.A. Lomov M.G. Shishaev E.Yu. Danilov	Visualization of ontologies on the basis of cognitive frames for knowledge transmission	109
A.V. Vicentiy	The virtual integration of heterogeneous and distribution data, knowledges and services mechanisms development for development of intelligent problem-oriented systems for spatially organized systems and processes information and analytical control support	121
O.V. Fridman	Using of gradient coordination technique to address the problem of operative control of objects with different structures	128
R.A.Makedonov A.A. Zuenko O.V. Fridman	Algorithm for synchronizing irregular processes in the system of situational conceptual modeling	136
A.A. Zuenko	Algebraic model of question-and-answer dialogue for building personal teaching trajectory	150

A.A. Zuenko A.A. Almamatov	Constraint programming based on using language Python and proposed structures and algorithms of n-tuple algebra	158
A.V. Kharitonov A.G. Oleynik	The method for locating of the pupil border on eye image	171
S.Yu. Yakovlev Yu.A. Oleynik A.S. Shemyakin	Local information system of investigations normative and methodical support	178
D.N. Khaliullina	Brief review of present-day methods for monitoring of complex social and economic region systems	185
D.N. Khaliullina S.N. Malygina A.A. Menkova	Developing simulation model for evaluating quantity of graduates from higher educational establishments and secondary specialized colleges in Murmansk region	196
A.A. Ryzhenko	The mechanism of modelling of chips and splinters of the destroyed objects of the difficult form	204
A.G. Oleynik V.F. Skorokhodov V.V. Birurov	The algorithm for program module functioning of the automatic topology selection for the process flowsheet of mineral ore concentration	215
I.E. Kirillov I.N. Morozov	Approach to creating an adaptive model of technological process with the purpose of implementation of operative-alert management	221
A.A. Tuz V.N. Bogatikov	Building an adaptive control system of grinding process of apatite-baddeleyite concentrate in sector of preparation flotation feed in the open joint stock company "Kovdorsky GOK"	226
M.S. Khokhulya A.V. Fomin	CFD modelling of mineral particles separation in hydraulic separator with inclined plates	239
V.F. Skorokhodov R.M. Nikitin	Use computational experiments to study the flotation separation of minerals	246
S.A. Kozyrev V.F. Skorokhodov R.M. Nikitin P.V. Amosov V.V. Massan	CFD method in computer technology as a tool to study the aerodynamics of deep open pits	251

ВВЕДЕНИЕ

Формирование и развитие информационной инфраструктуры является одним из направлений государственной политики России в Арктической зоне. Решение этой задачи охватывает довольно широкий спектр вопросов – от разработки проблемно-ориентированных информационных ресурсов и средств компьютерной обработки информации, до создания надежных телекоммуникационных сетей, обеспечивающих доступ к информационным ресурсам различным категориям пользователей. Очаговый характер деятельности в арктической зоне и прилегающих регионах предопределяет перспективность использования беспроводных технологий связи. Учитывая геополитическое положение Арктической зоны РФ, к одной из важнейших областей использования информационных технологий относится поддержка управления комплексной безопасностью данной территории. В рамках этой области, как и в других областях использования информационных технологий, должна решаться задача интеграции разнородных информационных ресурсов с целью обеспечения разнородных информационных потребностей пользователей различных категорий. Актуальность этой задачи обусловлена необходимостью реализации системного подхода при решении проблем Арктической зоны РФ, предполагающего рассмотрение возникающих вопросов и задач с различных точек зрения и, как следствие, совместное использование данных, знаний и методов обработки информации, характерных для различных областей знания. Согласование информации, порождаемой и используемой различными субъектами деятельности, а также вырабатываемых ими решений требует создания соответствующих моделей, методов и инструментальных средств. Перспективными технологиями, которые используются для указанных целей, являются технологии онтологического анализа, имитационного моделирования. Важно, также развивать подходы, обеспечивающие повышение когнитивности средств поиска, анализа и представления мультимедийной информации, обеспечивающие автоматизированную адаптацию средств информационной поддержки, как к ментальным представлениям пользователя, так и к специфике решаемых задач.

Не менее важными, чем разработка перспективных технологий моделирования и организации информационной инфраструктуры поддержки деятельности в Арктической зоне РФ, являются и решения конкретных задач, направленных на аналитическую поддержку принятия решений в таких областях, как переработка минеральных ресурсов и кадровая политика регионов.

Настоящий выпуск – пятый 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 государственного университета, а также в сотрудничестве с исследователями других научных и образовательных учреждений.

УДК 004.89, 004.942, 338.24

А.В. Маслобоев^{1,2}, В.А. Путилов^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РОССИИ*

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, полученные в ходе выполнения работ по проекту РФФИ № 12-07-00138-а "Разработка когнитивных моделей и методов формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью арктических регионов России". Приводится краткая характеристика основных научных результатов, рассматриваются их особенности и области применения.

Ключевые слова:

когнитивные информационные технологии, распределенная среда, информационно-аналитическая поддержка, управление, региональная безопасность, концептуальное моделирование, имитационное моделирование, мультиагентный подход, арктический регион.

A.V. Masloboev, V.A. Putilov

DEVELOPMENT OF COGNITIVE MODELS AND METHODS FOR INTEGRATED INFORMATION ENVIRONMENT FORMATION FOR ARCTIC REGION SAFETY MANAGEMENT SUPPORT OF RUSSIAN FEDERATION

Abstract

The paper represents research issues and work-out results received within the bounds of research works carried out according to RFBR research project № 12-07-00138-a "Development of cognitive models and methods for integrated information environment formation for Arctic region safety management support of Russian Federation". A brief characteristic, distinctive features and application areas of the main scientific contributions have been considered.

Keywords:

cognitive information technologies, distributed system, information and analytical support, management, regional security, conceptual modeling, simulation, agent-based approach, Arctic region.

Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) является объектом сферы национальных интересов ведущих мировых держав, что 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

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

обуславливает высокую актуальность темы защиты интересов РФ в Арктической зоне и выводит задачу обеспечения комплексной безопасности развития арктических регионов России на передний план, позиционируя ее как самостоятельную проблему, требующую научной проработки [1]. Решение данной задачи затрудняется необходимостью интеграции, обработки и анализа большого объема разноплановой информации для различных ведомств, а также согласованности информационного взаимодействия соответствующих структур управления безопасностью. В связи с этим, одним из приоритетных направлений государственной политики РФ в Арктике, согласно «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», является развитие сферы информационных технологий и связи.

Анализ мер, осуществляемых РФ по развитию сферы информационных технологий для задач управления безопасностью (социальной, экономической, промышленно-экологической, кадровой и т.д.) в Российской Арктике, свидетельствует о том, что их эффективность существенно снижается в результате возникновения ряда проблем [2], вызванных:

- отсутствием современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющей предоставлять информационные услуги населению и хозяйствующим субъектам на всей территории АЗ РФ;

- необходимостью интеграции, обработки и анализа больших объемов семантически и организационно разнородной информации в интересах различных ведомств;

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

- ограниченным доступом к пространственно-распределенным источникам проблемно-ориентированной информации, необходимой 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 безопасностью развития арктических регионов, позволяющей повысить оперативность, достоверность и качество информации об обстановке в АЗ РФ.

В ходе предварительных исследований отечественных и зарубежных научно-методических и программных разработок, комплексно решающих перечисленные проблемы, не выявлено. Современные системы информационной поддержки управления комплексной безопасностью региональных социально-экономических систем (РСЭС) разрабатываются, как правило, под конкретные задачи - например, связанные с метеорологией, энергетикой, морской деятельностью, кибербезопасностью или экологией, и 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 комплексной безопасностью развития РСЭС АЗ РФ, подверженных влиянию множества разнородных внутренних и

внешних факторов. Для решения данной задачи перспективным направлением исследований является создание когнитивных технологий построения виртуальных про-активных систем, обеспечивающих основу для формирования расширяемой многофункциональной информационной инфраструктуры безопасности арктических регионов, наделенной потенциалом к саморазвитию и самоорганизации. Информационная среда поддержки управления комплексной безопасностью арктических регионов представляет собой комплекс проблемно-ориентированных, взаимоувязанных и взаимодействующих информационно-аналитических ресурсов, а также технологическую и организационную инфраструктуру их создания и использования [3, 4].

В статье рассматриваются результаты исследований, полученные в ходе выполнения работ по проекту РФФИ № 12-07-00138-а "Разработка когнитивных моделей и методов формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью арктических регионов России".

Объектом исследования являются комплексная безопасность развития региональных социально-экономических систем (далее - региональная безопасность) АЗ РФ, подверженных влиянию множества внешних и внутренних факторов, а также формализованные модели виртуальных организационных структур обеспечения безопасности, рассматриваемые как сетцентрические ситуационно-коалиционные мультиагентные системы.

Пилотным полигоном исследований является Мурманская область, как наиболее изученный регион АЗ РФ, стратегически значимый с точки зрения своего геополитического и геоэкономического положения, роли в обеспечении обороноспособности страны, запасов природных ресурсов.

Цель исследования заключается в разработке и анализе когнитивных моделей, методов и технологий, ориентированных на создание сетцентрических проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных систем, обеспечивающих комплексную информационно-аналитическую поддержку и повышение эффективности согласованной деятельности субъектов региональной безопасности.

Единая методологическая база исследований включает: методы системного анализа, теории многоагентных систем, концептуального и имитационного моделирования, системной динамики, нечеткой логики, интеллектуальной поддержки принятия решений, а также математической теории безопасности и риска. В ходе исследований предложен когнитивный подход к решению задач управления глобальной безопасностью региональных социально-экономических систем, основанный на интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования.

Исследования проходили в три этапа. Первый этап предусматривал системный анализ проблем информационного обеспечения комплексной безопасности развития РСЭС с целью постановки и формализации задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, разработку и развитие теоретической базы для создания информационных технологий поддержки управления комплексной безопасностью арктических регионов. Второй этап предполагал разработку моделей, методов и технологий формирования интегрированной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью. Третий этап включал создание программно-алгоритмической базы информационно-аналитической

поддержки задач управления рискоустойчивым региональным развитием в АЗ РФ, разработку компонентов распределенной мультиагентной системы информационного обеспечения региональной безопасности.

Актуальность и высокая значимость проведенных исследований для экономики и обороноспособности страны подтверждается принятием постановлений Правительства РФ «Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Указом Президента РФ 18.09.2008 г. Пр-1969) [5], «Стратегия национальной безопасности РФ до 2020 года» (утверждено Указом Президента РФ 12.05.2009 г. №537) [6], «Стратегия развития АЗ РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» (утверждено Указом Президентом РФ 20.02.2013 г., Пр-232) [7].

Далее представлена общая характеристика полученных результатов, их особенности и сферы применения.

I этап (2012 г.)

В результате исследований на первом этапе предложен вариант формализации системы знаний о существующих и возможных подходах к решению задач управления региональной безопасностью и связанных с этими задачами информационных процессах. Формализация реализована в виде интегрированной концептуальной модели мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления комплексной безопасностью региона [8]. Модель представляет собой базу знаний древовидной структуры и является основой ментальной подсистемы гибридной InteRRap-архитектуры когнитивных программных агентов [9], представляющих субъектов безопасности в виртуальной среде. Данная подсистема определяет интеллектуальность, цели и правила взаимодействия агентов, а также отношения между ними. Концептуальная модель обладает когнитивными свойствами и обеспечивает основу для автоматизации и имитационного моделирования типовых процессов управления безопасностью с целью синтеза виртуальных организационных структур под конкретную задачу и оценки потенциальных угроз безопасности при различных сценариях развития региона.

В концептуальной модели явно представлены когнитивные программные агенты субъектов региональной безопасности как специальный тип объектов. Агенты обеспечивают имитацию деятельности субъектов безопасности в виртуальной информационной среде поддержки управления безопасностью, реализуют поиск субъектов совместной деятельности и участвуют в формировании виртуальных организационных структур безопасности для согласованного решения задач управления региональной безопасностью и ее составляющими. Отношения, представленные в модели, обеспечивают формализацию взаимосвязей и взаимодействия компонентов реальной социально-экономической среды и инфраструктуры безопасности региона. Отношения принадлежности связывают когнитивных программных агентов с субъектами региональной безопасности.

Модель обеспечивает унифицированное описание виртуальных организационных структур безопасности и алгоритмов функционирования когнитивных агентов, представляющих субъектов региональной безопасности в мультиагентной виртуальной среде. Модель является базисом для создания

информационных технологий и средств реализации виртуальной среды информационно-аналитической поддержки управления безопасностью региона. За счет логического вывода на модели обеспечивается возможность реализации процедур синтеза виртуальных организационных структур, объединяющих агентов субъектов региональной безопасности в коалиции, ориентированные на решение типовых задач управления безопасностью функционирования региональных подсистем и их компонентов. Вывод на модели также обеспечивает реализацию процедур оценки потенциальных рисков возникновения внутренних и внешних угроз безопасности развития региона и синтез спецификаций исполнительной среды для реализации моделирования в интересах решения задач управления безопасностью регионального развития.

Из построенной концептуальной модели следует система показателей безопасности – набор определенных параметров для каждой области региональной безопасности, которые используются в качестве входных параметров соответствующих имитационных моделей [10], разработанных на следующих этапах исследования.

Разработан комплекс базовых системно-динамических шаблонов для имитационного моделирования задач управления региональной безопасностью [11]. Шаблон представляет собой имитационную модель, обладающую фиксированной структурой и настраиваемыми параметрами. Наличие библиотеки шаблонов обеспечивает возможность оперативного создания имитационных моделей основных составляющих региональной безопасности, позволяющих исследовать различные варианты развития ситуаций и последствия реализации решений в сфере управления безопасностью. Типовые шаблоны созданы для таких концептуальных классов, как: объекты обеспечения безопасности, субъекты безопасности, действующие факторы (внутренние и внешние угрозы безопасности), ситуации, сценарии снижения рисков возникновения потенциальных угроз безопасности. Синтез проблемно-ориентированных имитационных моделей из шаблонов осуществляется на основе концептуального описания решаемой задачи. На основе предложенной библиотеки типовых имитационных шаблонов разработаны исследовательские варианты системно-динамических моделей управления продовольственной, экономической и кадровой безопасностью региона, обеспечивающие отработку технологии анализа с использованием имитационного моделирования разнородных рисков, связанных с компонентами региональной системы. Применение моделей позволяет путем многократной имитации получить комплексную оценку безопасности на каждом этапе выбранного сценария развития региона. Кроме того, системно-динамические модели могут быть использованы для приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике показателей безопасности региона.

Предложено инструментальное средство формирования моделей на основе типовых шаблонов [12]. Программный продукт реализован в виде веб-приложения, позволяющего осуществлять в дистанционном режиме синтез имитационных моделей в результате интеграции и настройки отдельных типовых системно-динамических шаблонов. В качестве имитационной среды на серверной стороне приложения используется средство моделирования Anylogic.

Разработана архитектура и базовые компоненты управляющего ядра распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы [13]

поддержки создания и использования полимодельных комплексов для задач управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем. Компоненты управляющего ядра обеспечивают поддержание корректного и согласованного функционирования когнитивных агентов субъектов безопасности в виртуальном информационном пространстве региона, а также выполнение процедур автоматизированного синтеза проблемно-ориентированных имитационных моделей из шаблонов для создания полимодельных комплексов и их последующего использования в имитационном аппарате когнитивных агентов для реализации прогностических функций. Созданные компоненты обеспечивают поддержку функционирования и взаимодействия программных когнитивных агентов, представляющих интересы реальных субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальных распределенных информационных средах.

Проблемно-ориентированная агентная платформа поддержки управления безопасностью [13] состоит из взаимодействующих между собой когнитивных программных агентов основных типов субъектов безопасности, реализованных в виде отдельных приложений. Каждый из агентов технически реализуется в виде локальных программ (.exe) или веб-сервисов. В состав платформы входят также подсистемы, реализующие процедуры формирования коалиций агентов и механизмы управления совместной деятельностью, технологии обеспечения информационной безопасности агентов и данных, которыми они оперируют, алгоритмы миграции агентов, механизмы интеграции разнородных информационных ресурсов. Разработаны специализированные компоненты распределенной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью: средства формирования отдельных подмоделей с помощью разных методов моделирования и их интеграции в общий полимодельный комплекс; средства, обеспечивающие согласование и выбор общесистемного шага моделирования для различных подмоделей; процедуры формирования и исполнения подмоделей внутри имитационного аппарата когнитивных агентов; средства интеграции (консолидации) результатов в разрезе конкретной решаемой задачи (проблемы) управления безопасностью развития системы и др. Разработанные компоненты обеспечивают расширение функциональных и технологических возможностей существующих агентных платформ, применяемых для поддержки функционирования и взаимодействия программных когнитивных агентов, представляющих интересы реальных субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальных распределенных информационных средах.

Проведены исследования в области использования нейросетей в качестве базиса для создания моделей оценки состояний надежности, уровня безопасности и прогнозирования развития социально-экономических и технологических систем [14, 15]. Достоинством решений на основе нейронных сетей является гибкость их структуры и способность к самообучению, что обеспечит их адаптивность к изменениям моделируемых систем. Использование нейросетевых моделей совместно с агентными технологиями позволяет получить динамические по своей структуре и свойствам информационные системы интеллектуальной поддержки принятия решений в сфере управления региональной безопасностью. Предложена технология синтеза структуры оценки состояния надежности социально-экономической системы арктического

региона на основе использования нейронных сетей встречного распространения [14, 15]. Использование данного математического аппарата дает возможность определения состояний системы при большом количестве векторов входных параметров. Для определения состояний надежности региональной социально-экономической системы предложено использовать элементы многопороговой логики и нечетких множеств.

II этап (2013 г.)

В рамках второго этапа исследований по плану проекта разработана иерархическая модель развертывания деятельности когнитивных агентов [16] для моделирования целенаправленного поведения субъектов региональной безопасности в проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных средах, реализуемая в виде многослойной семантической сети. Ядром модели является четырехуровневая схема развертывания деятельности: "деятельность - ситуация - действие - операция". На каждом уровне отражаются как радиальные связи (от периферии к центру) между регулятивными (в частности, интенциональными и поведенческими) и морфологическими компонентами деятельности, так и кольцевые связи между базовыми функциями организации деятельности. Модель обеспечивает технологическую основу для синтеза функциональной структуры и анализа динамики взаимодействия когнитивных агентов в мультиагентных виртуальных системах, ориентированных на решение задач управления региональной безопасностью.

В рамках решения задачи разработки информационных технологий поддержки рискоустойчивого управления безопасностью промышленно-природных систем арктических регионов РФ сформирована система основных понятий предметной области, выполнена классификация основных техногенно-экологических опасностей арктических регионов РФ, сформулирована постановка задачи обеспечения техногенно-экологической безопасности развития [17]. Создана информационная технология обеспечения защищенности типовых критически важных объектов АЗ РФ от угроз техногенного, природного характера и террористических актов [18, 19]. Совокупность свойственных АЗ РФ потенциальных техногенно-экологических опасностей представлена в виде многоуровневой системы вложенных таблиц (матриц) "источники опасностей – объекты воздействия опасностей". При разработке и исследовании моделей управления безопасностью применялся принцип приемлемого риска. Под приемлемым риском понимается риск, достижимый и оправданный (допустимый) с точки зрения социально-экономических и экологических факторов обеспечения безопасности развития, т.е. риск, с которым можно мириться ради получения определенных положительных результатов деятельности в настоящем и будущем. Величина приемлемого риска определяется набором разнородных факторов. Разработана и апробирована на конкретных примерах технология синтеза рациональных структур информационного обеспечения задач управления промышленно-экологической безопасностью региональных систем АЗ РФ. Технология позволяет оптимизировать структуру и состав разнородной информации, необходимой для поддержки принятия решений в сфере управления промышленно-экологической безопасностью арктических регионов.

Для управления безопасностью промышленно-природных систем разработана методика построения нечетко-определенных моделей, включающих идентифицирующую, прогнозную и нечеткую составляющие [20]. Для формализации рассматриваемых задач использованы базовые математические понятия теории множеств и соответствий. В рамках используемого формализма определяются множества регламентных (допустимых) состояний системы, а также множество опасностей и множество управлений, направленных на нейтрализацию опасности. В качестве критерия оценки управления предложено использовать индекс риска. Определение области безопасности функционирования системы основано на нечетком отношении предпочтения во множестве альтернатив. Индекс риска достигает минимума при совпадении рабочей точки системы с центром области безопасности. Система функционирует в области безопасности, если ее индекс риска не выходит за пределы некоторой величины, называемой границей безопасности по учитываемым факторам.

Для эффективного управления безопасностью развития природно-промышленных комплексов арктических регионов предложены методы реализации упреждающего управления [21, 22]. В контексте данного вида управления осуществляется прогноз изменения параметров объекта управления на некоторый промежуток времени с помощью нейросетевых методов. Для моделирования применяются сети Гроссберга и Кохоннена, обеспечивающие высокую адаптивность создаваемых моделей, что позволяет избежать «ручной» корректировки в условиях динамически изменяющихся характеристик объекта управления. Указанные модели дополняют имитационный аппарат агентов, отвечающих за решение задач анализа ситуаций и выбор управляющих воздействий с целью предотвращения роста индекса риска.

Построена онтологическая модель проблемы социальной безопасности арктических регионов, отражающая структуру основных понятий предметной области [23]. В модель, наряду с субъектами и объектами социальной безопасности, включены социально-экономические индикаторы состояния общества, наиболее часто используемые для количественных оценок уровня социальной безопасности, а также отношения, обеспечивающие вычисление синтетических (интегральных) показателей социальной безопасности. Проведена адаптация разработанных ранее алгоритмов с целью формирования сечений созданной онтологии, представляющих концептуальное описание конкретных ситуаций, и последующего синтеза имитационных моделей для оценки развития этих ситуаций. Разработаны исследовательские версии моделей идентификации ситуаций в социальной безопасности, основанные на использовании методов нечеткой логики и нейронных сетей.

Разработана структура и определены основные функции подсистемы мониторинга социальной безопасности, ориентированной на интеграцию в единое информационное пространство региона. Наряду с известными методиками оценки социальной безопасности в рамках подсистемы предполагается реализация функций формирования оценок на основе анализа слабоструктурированной информации, извлекаемой из неформальных источников, к которым, в частности, относятся социальные сети. Функции сбора, анализа и агрегации информации, а также идентификации ситуаций осуществляются специализированными программными агентами.

Разработан прототип полимодельного комплекса для проведения вычислительных экспериментов в области исследования региональных социально-экономических систем, позволяющих выявить и оценить потенциальные угрозы безопасности развития региона. Полимодельный комплекс ориентирован на исследование процессов управления в таких сферах региональной безопасности, как экономическая, кадровая, экологическая и социальная безопасность. Комплекс состоит из набора имитационных моделей и вспомогательного программного обеспечения, осуществляющего функции связующего звена для организации взаимодействия между остальными компонентами. Набор компьютерных моделей реализован с применением концептуального и агентного моделирования, метода системной динамики и технологии концептуальных шаблонов. Каждая разработанная модель имитирует процессы, протекающие в различных компонентах региональных систем, и при моделировании отдельных отраслей региона учитывает специфику АЗ РФ. Полимодельный комплекс дает возможность производить имитацию процессов, протекающих в различных региональных подсистемах, влияющих на глобальную безопасность развития региона. На основе моделирования осуществляется прогнозирование возможных последствий изменения параметров социально-экономической обстановки, как в региональной социально-экономической системе в целом, так и в ее подсистемах.

Проведена адаптация алгоритмов логического вывода на концептуальной модели для автоматизированного синтеза спецификаций проблемно-ориентированных виртуальных организационных структур в области обеспечения региональной безопасности [24]. С учетом развития информационно-коммуникационных технологий определено, что адекватным подходом к управлению комплексной безопасностью региональных социально-экономических систем является использование сетевидной информационно-аналитической среды региональной безопасности, реализуемой на базе распределенной информационно-аналитической среды региона. Разработаны метод и технология формирования в рамках региональной информационно-аналитической среды потенциально эффективных проблемно-ориентированных организационных структур, способных обеспечивать решение различных классов задач управления региональной безопасностью [25, 26]. Метод основан на использовании формализованной концептуальной модели мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью [8]. Виртуальные организационные структуры безопасности представляют собой коалиции когнитивных агентов и наборы информационных ресурсов, сформированные на основе анализа концептуальных описаний кризисных ситуаций и ассоциированных с ними задач. Предложенное решение позволяет учитывать специфику возникающих кризисных ситуаций, необходимость согласованности целей взаимодействия входящих в состав формируемой структуры субъектов безопасности, а также временных и ресурсных ограничений. Концептуальная модель реализуется в виде прикладной онтологии региональной безопасности. Онтология реализована в терминах языка онтологического моделирования OWL. Так как разработка агентов системы выполняется на базе платформы JADE, то для обеспечения возможности работы агентов с прикладными онтологиями использована специальная библиотека

AgentOWL. Она обеспечивает создание и использование RDF/OWL онтологий в качестве моделей знаний агентов.

III этап (2014 г.)

В ходе третьего этапа исследований разработан тренажерно-моделирующий комплекс [19] для поддержки принятия решений по предупреждению и отражению типовых угроз безопасности развития регионального промышленно-природного кластера. В рамках комплекса интегрированы разнообразные модели: региональной системы управления безопасностью, инфраструктуры региона, многокритериальных задач оптимизации действий сил и средств локализации и ликвидации кризисных ситуаций.

Предложен комбинированный метод обучения агентов, основанный на интеграции модели коллективного обучения с подкреплением (Q-learning) и системно-динамических моделей внешней среды, реализуемых в имитационном аппарате агентов [26]. Реализация метода обеспечивает расширение адаптационных возможностей и повышение интеллектуальности, автономности и результативности деятельности программных агентов при решении задач пользователей в условиях неполных и/или слабоструктурированных исходных данных. Обучение позволяет снизить количество неэффективных альтернатив в процессе автоматизированного синтеза спецификаций мультиагентных моделей организационных структур обеспечения безопасности, а также обеспечивает автоматическое ранжирование и последовательное обнаружение сервисов агентов и информационных ресурсов с максимально возможной степенью соответствия решаемой задаче управления безопасностью.

Разработаны архитектура и комплекс активных программных компонентов мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью с унифицированной точкой доступа на основе веб-технологий [27, 28]. Программные компоненты среды обеспечивают динамический синтез иерархического виртуального пространства региона, как интеграционной площадки проблемно-ориентированных коалиционных мультиагентных структур информационной поддержки регионального управления и кризисного реагирования.

Разработана интегрированная модель реконфигурации структуры виртуального центра управления безопасностью регионов АЗ РФ [29]. Модель обеспечивает оперативное формирование единого информационного поля для принятия решений, а также выработку рекомендаций по согласованным организационной и функциональной структурам управления для типовых региональных чрезвычайных и кризисных ситуаций. Модель предназначена для проектирования и отработки функционирования систем управления безопасностью арктических регионов Российской Федерации.

Разработан программный комплекс, обеспечивающий реализацию и функционирование виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях в виде специализированного облачного сервиса на базе IaaS-архитектуры и агентных технологий [30]. Данное технологическое решение обеспечивает основу для решения на основе моделирования следующих задач: стратегическое планирование и прогнозирование устойчивого развития региональных социально-экономических

систем, синтез спецификаций взаимодействия субъектов управления для обеспечения различных видов региональной деятельности.

Создан исследовательский прототип профессиональной социальной сети BarentsNet [31], представляющей собой виртуальную интеграционную площадку для экспертов в области управления инновационным и безопасным развитием арктических регионов. Разработаны функциональная структура и базовые компоненты онлайн-автоматизированных рабочих мест («личных кабинетов») субъектов проблемно-ориентированной деятельности АЗ РФ в составе веб-ориентированной информационной системы BarentsNet. Система предназначена для интеграции заинтересованных бизнес-сообществ, государственных структур и экспертов из различных предметных областей в рамках виртуального пространства региона с целью повышения эффективности их информационного взаимодействия при совместном решении конкретных задач управления региональной безопасностью.

Таким образом, мультиагентная виртуальная среда региональной безопасности [28] представлена следующими практическими разработками:

- распределенная агентная платформа, 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;

- сетевая 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;

- интегрированный Арктический Интернет-портал RU-Arctic.net, представляющий собой мультипредметный веб-ресурс и обеспечивающий унифицированную точку доступа к ресурсам мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности на основе веб-технологий;

- комплекс системно-динамических шаблонов и синтезируемых на их основе проблемно-ориентированных имитационных моделей анализа и прогнозирования различных показателей региональной безопасности, 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;

- онтология региональной безопасности, построенная на основе разработанной формальной концептуальной модели интегрированной информационной среды поддержки управления глобальной безопасностью региона и используемая в качестве базы знаний агентов системы;

- виртуальная интеграционная площадка BarentsNet (www.barents-online.net), представляющая собой социальную сеть профессиональных коммуникаций для экспертов в области управления развитием арктических регионов;

– прототип виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях, реализованный в виде специализированного облачного сервиса на базе SaaS-архитектуры.

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 и систем, а также средств автоматизированной обработки содержащихся в них данных.

Характеристика полученных результатов

Предложена оригинальная структура единого формального представления целостной сетцентрической информационно-аналитической среды для задач управления безопасностью региональных социально-экономических систем. Данное представление реализуется в виде концептуальной модели мультиагентной среды поддержки управления безопасностью. Модель обеспечивает основу для автоматизации анализа и организации имитационного моделирования типовых процессов управления безопасностью. Отличительной особенностью разработанной концептуальной модели является формальное представление в терминах модели классификации угроз безопасности разнородных объектов и процессов в региональных социально-экономических системах. Формализация обеспечивает возможность комплексного ситуационного анализа функционирования контролируемых объектов и процессов безопасности и последующего синтеза на концептуальной модели согласованных по времени, ресурсам и специфике ситуации виртуальных организационных структур управления данными объектами и процессами.

Создан оригинальный комплекс (библиотека) системно-динамических шаблонов для задач управления безопасностью регионального развития. Наличие библиотеки шаблонов обеспечивает возможность оперативного создания имитационных моделей для поддержки принятия решений в области управления комплексной безопасностью развития арктических регионов.

Новизной обладает архитектура распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы поддержки создания и использования полимодельных комплексов для задач управления региональной безопасностью. Компонентный состав разрабатываемой агентной платформы обеспечивает расширенные функциональные возможности по сравнению с существующими платформами мультиагентных распределенных информационных систем. Платформа обеспечивает реализацию аналитических и прогностических функций когнитивными агентами в мультиагентной виртуальной среде.

Разработанная в рамках проекта информационная технология обеспечения защищенности типовых критически важных объектов Арктической зоны РФ, по сравнению с аналогичными разработками, поддерживает классификацию и идентификацию объектов, оценку уровня их защищенности. Это позволяет повысить оперативность и обоснованность формирования комплекса согласованных мероприятий организационного, методического, инженерного,

экономического, социального и иного характера, направленных на повышение уровня промышленно-экологической безопасности.

Создан полимодельный комплекс для проведения вычислительных экспериментов в области исследования безопасности социально-экономических систем Арктической зоны РФ. Модели, включенные в комплекс, обеспечивают учет региональных особенностей рассматриваемых территорий и позволяют проводить совместный анализ влияния факторов различной природы на безопасность развития региона.

Предложена оригинальная структура иерархической модели развертывания деятельности когнитивных агентов для моделирования целенаправленного поведения разнородных субъектов региональной безопасности в проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных средах. Использование модели на начальных этапах проектирования проблемно-ориентированных мультиагентных систем позволяет повысить степень адекватности функциональной организации создаваемых когнитивных агентов (виртуальных деятелей) для различных категорий пользователей с учетом их поведенческих особенностей и моделей взаимодействия. Средства реализации предложенной модели для ролевой имитации целенаправленного поведения субъектов проблемно-ориентированной деятельности в мультиагентных виртуальных системах обеспечивают синергетический эффект и получение результатов, обладающих высоким уровнем когнитивности.

Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур для задач управления региональной безопасностью основан на совместном анализе семантического описания решаемых задач, информационных ресурсов и сервисов агентов. Метод обеспечивает формирование коалиций агентов, адекватных решаемым задачам управления безопасностью, что повышает эффективность информационного обеспечения деятельности субъектов регионального управления и оперативность принятия решений на этапе планирования совместных антикризисных мероприятий. Метод позволяет синтезировать мультиагентные модели организационных структур обеспечения безопасности, в том числе, в условиях использования слабоструктурированных неполных исходных данных с учетом пространственно-временных и ресурсных ограничений для конкретного класса кризисных ситуаций.

Когнитивный подход к построению региональных распределенных информационных систем на основе сетцентрических мультиагентных виртуальных пространств, позволяет реализовать разработанную технологию динамического формирования и конфигурирования проблемно-ориентированных коалиционных мультиагентных систем для информационной поддержки межведомственной деятельности в сфере управления комплексной безопасностью региона. Новизна технологии заключается в применении модели самоорганизации на основе градиентных вычислительных полей для реализации процедур формирования коалиций агентов и ассоциированных с ними информационных ресурсов. Технология обеспечивает повышение автономности и интероперабельности интегрируемых разнородных программных компонентов ведомственных информационных систем. Технология ориентирована на открытые сети агентов и обеспечивает основу для формирования расширяемой многофункциональной сетцентрической информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью.

Полученные результаты расширяют сферу применения современных мультиагентных технологий [32] и обеспечивают решение широкого круга задач, связанных с информационной поддержкой управления региональным развитием, а также организационными и техническими системами различной степени сложности и масштаба.

Результаты, полученные в ходе реализации проекта, соответствуют мировым тенденциям развития когнитивных информационных технологий и средств компьютерного моделирования, ориентированных на информационно-аналитическую поддержку управления безопасностью функционирования сложных динамических систем.

Заключение

В ходе исследований по проекту сформулирована и решена научно-техническая проблема разработки методов и средств информационной поддержки управления комплексной безопасностью развития социально-экономических систем регионального масштаба в Арктической зоне Российской Федерации. Решение проблемы базируется на созданных когнитивных моделях, методах и технологиях виртуализации проблемно-ориентированной деятельности субъектов регионального управления, что обеспечивает формирование проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств управления региональной безопасностью. Результаты исследований и разработок обеспечили возможность моделирования целенаправленной деятельности субъектов безопасности и формирования проблемно-ориентированных виртуальных пространств, как ситуационно-коалиционных мультиагентных систем поддержки управления безопасностью.

Возможности мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью позволяют проиграть и оценить возможные варианты ситуаций на треке развития региона с учетом внутренней региональной динамики и влияния внешних факторов, что обеспечивает возможность решения задач синтеза траекторий безопасного развития региональных социально-экономических систем и позволяет проводить выработку рекомендаций по обеспечению региональной безопасности в меняющихся условиях.

Синтезируемое на основе разработанных методов и технологий виртуальное пространство региона – следующий этап на пути создания компьютерных тренажеров для региональных и муниципальных государственных служащих, менеджеров, системных аналитиков, военных, программных тренажерно-моделирующих комплексов, предназначенных для интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению рискоустойчивым региональным развитием.

Литература

1. Маслобоев, А.В. Обеспечение глобальной безопасности регионального развития (постановка задачи) / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами.- М.: КРАСАНД, 2010.- Т.59. - С.29-44.

2. Маслобоев, А.В. Проблемы информационной поддержки управления глобальной безопасностью Арктической зоны России / А.В. Маслобоев // Геополитика и безопасность. - 2013. - №3(23). - С.60-71.
3. 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.
4. Маслобоев, А.В. Интегрированная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью: этапы и технологии реализации / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН.- 2012.- Т.62.- №3.- С.61-73.
5. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу.- Режим доступа: <http://www.scrf.gov.ru/documents/15/98.html>, свободный.
6. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года.- Режим доступа: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>, свободный.
7. Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года.- Режим доступа: <http://government.ru/news/432>, свободный.
8. 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.
9. Маслобоев, А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета.- 2009.- Т.12, №1. - С.113-125.
10. Маслобоев, А.В. Состав и структура системно-динамической модели глобальной безопасности арктического региона / А.В. Маслобоев // Вести высших учебных заведений Черноземья. - 2013.- №4(34).- С.43-53.
11. Маслобоев, А.В. Комплекс моделей и инструментальных средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью / А.В. Маслобоев, А.В. Горохов // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: сборник статей. XIII Международной научно-практич. конф., 24-25 мая 2012 г., Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова. - СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.- Т.2., Ч.1.- С.74-78.
12. Быстров, В.В. Программный комплекс автоматизации синтеза имитационных моделей сложных динамических систем / В.В. Быстров, А.В. Маслобоев, А.В. Горохов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17079 от 12.05.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150635 от 12.05.2011 г. (ОФАП)
13. 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.

14. Богати́ков, В.Н. Синтез структур оценки состояния надежности социально-экономической системы Арктического региона / В.Н. Богати́ков, И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 3. - 4/2012(11). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. – С.24-30.
15. Богати́ков, В.Н. Подход к оценке состояний социально-экономических систем для целей управления их надежностью (на примере Арктического региона) / В.Н. Богати́ков, И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 3. - 4/2012(11). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. – С.31-39.
16. Маслобоев, А.В. Иерархическая модель развертывания деятельности когнитивных агентов в проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных системах / А.В. Маслобоев // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIII Международной научно-методич. конф., 7-8 февраля 2013г., г. Воронеж.- Воронеж: ВГУ, 2013.- Т.2.- С.304-306.
17. Яковлев, С.Ю. Базовая структурная модель опасностей промышленно-природного комплекса / С.Ю. Яковлев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Вып. 3. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - 4/2012(11). – 2012. - С.150-157.
18. Яковлев, С.Ю. Современные тенденции в управлении безопасностью сложных систем / С.Ю. Яковлев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 4. -4/2013(17). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. – С.29-39.
19. Яковлев, С.Ю. Основы создания системы комплексной безопасности для защиты арктической зоны российской федерации от чрезвычайных ситуаций /С.Ю. Яковлев // Вестник КНЦ.- 3/2014.-Апатиты:Изд-во КНЦ РАН.- С.84-91.
20. Яковлев, С.Ю. Информационные технологии обеспечения безопасности развития промышленно-природных комплексов арктических регионов РФ / С.Ю. Яковлев // Север и рынок: формирование экономического порядка. - №3(40).- 2014.- С.188-190.
21. Богати́ков, В.Н. Создание распределенных моделей с самонастройкой на основе агентных технологий и нейросетевого аппарата / В.Н. Богати́ков, И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов // Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy – 2013». - Díl 71. moderní informační technologie : Praha. Publishing House «Education and Science». - St.26-36.
22. Маслобоев, А.В. Методика комплексной оценки безопасности региональных социально-экономических систем / А.В. Маслобоев, В.Н. В.Н. Богати́ков // Наука и Образование – 2013: материалы Международной научно-практ. конф., 4-10 марта 2013г., г. Мурманск. - Мурманск: МГТУ, 2013.- С.455-459.
23. Ломов, П.А. Формальная интеграция знаний для решения задач устойчивого развития территорий / П.А. Ломов, А.Г. Олейник // Проблемы природопользования, устойчивого развития и техногенной безопасности регионов: материалы VII Международной научно-практ. конф., г. Днепрпетровск, Украина, 8-11 октября 2013 г. /под ред. А.Г. Шапарь. – Днепрпетровск: Монолит, 2013. – С.16-20.

24. Горохов, А.В. Технология формирования спецификаций среды имитационного моделирования задач управления / А.В. Горохов, А.В. Маслобоев, А.Г. Олейник // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы.- 2013. - №3(19). - С.55-70.
25. Маслобоев, А.В. Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур для задач управления региональной безопасностью / А.В. Маслобоев // Программные продукты и системы.- 2013.- №4(104).- С.141-149.
26. Маслобоев, А.В. Когнитивная технология динамического формирования и конфигурирования проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета.- 2013.- Т.16.- №4.- Мурманск: МГТУ, 2013.- С.748-761.
27. Маслобоев, А.В. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.- 2011.- №6(76).- С.98-104.
28. 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.
29. Яковлев, С.Ю. Прикладные разработки ИИММ КНЦ РАН по информационной поддержке обеспечения безопасности региональных промышленно-природных комплексов / С.Ю. Яковлев // История науки и техники. - 2014. - №1. – С.107-123.
30. Маслобоев, А.В. Виртуальные когнитивные центры как интеллектуальные системы для информационной поддержки управления региональной безопасностью / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.- 2014.- №2(90).- С.167-170.
31. Маслобоев, А.В. Разработка социальной сети BarentsNet для задач информационного обеспечения безопасности и инновационного развития арктических регионов / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета.- 2014.- Т.17. - №3.- С.523-530.
32. 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. - Вып. 3. - 4/2012(11). –Апатиты:Изд-во КНЦ РАН, 2012. - С.10-23.

Сведения об авторах

Маслобоев Андрей Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: masloboev@iimm.ru

Andrey V. Masloboev - Cand. of Sci (Tech), senior research fellow

Путилов Владимир Александрович – д.т.н., профессор, директор,
e-mail: putilov@iimm.ru

Vladimir A. Putilov - Dr. of Sci (Tech), Prof., director

УДК 004.73

А.С. Шемякин, И.О. Датьев

Институт Информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

СВЯЗЬ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация

В данной статье представлен обзор текущего состояния связи в северных регионах Российской Федерации: Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Карелия, Мурманская и Архангельская область. В частности, рассматривается состояние проводной, сотовой и спутниковой связи.

Ключевые слова:

телекоммуникации, проводная связь, спутниковая связь, сотовая связь.

A.S. Shemyakin, I.O. Datyev

TELECOMMUNICATION OF RUSSIAN FEDERATION NORTHERN AREAS

Abstract

The paper reviews current telecommunication situation of Russian Federation Northern Areas. In particular, the state of wired, cellular and satellite communications are presented.

Keywords:

telecommunication, wired communication, satellite communication, cellular communication.

Введение

Развитие экономики страны напрямую зависит от развития связи и интернета. Благодаря интернету развивается малый бизнес, электронная коммерция, растет производительность труда и эффективность бизнес-процессов предприятий, решаются вопросы энергоэффективности и безопасности, медицины и образования. Каждые 10% проникновения быстрого и качественного интернета могут дать экономике рост ВВП на 1,4% в год.

Инвестиции операторов в инфраструктуру оптоволоконных линий по всей стране и программа обязательного технического оснащения вновь строящихся домов позволит России войти в первую десятку стран по уровню проникновения широкополосного доступа в интернет. К 2018-му году интернет должен стать таким же доступным, как электричество, и 80 процентов жителей будут иметь возможность подключиться к кабельному интернету на скорости 100 Мбит/сек [1].

Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года в целях развития информационных технологий и связи и формирования единого информационного пространства в Арктической зоне Российской Федерации предусматривает:

- создание надежной системы оказания услуг связи, навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг;
- создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющей осуществлять оказание услуг связи населению и хозяйствующим субъектам на всей территории Арктической зоны Российской Федерации [2].

В данной статье приводится обзор текущего состояния связи в северных регионах Российской Федерации.

Республика Саха (Якутия)

Спутниковая связь. Для большинства районов на внутризональных и межстанционных связях используется спутниковая связь с использованием частотно-энергетических ресурсов спутников связи - космических аппаратов «Экспресс – АМЗ» и «Экспресс – АМЗ3», расположенных на геостационарной орбите на 140 градусах восточной долготы и 96,5 градусов восточной долготы, соответственно.

Филиалом «Сахателеком» ОАО «Ростелеком» создана и функционирует спутниковая сеть «Сарда» и спутниковая сеть VSAT-станций. При этом основное назначение сети «Сарда», состоящей из 37 станций, это обеспечение спутниковой связью районных центров и крупных населенных пунктов. Сеть малых земных станций используется в основном для организации межстанционных связей с населенными пунктами. Общее количество спутниковых станций на сети филиала составляет 345 станций.

Внутризональная связь (проводная). В 2010 году ОАО «Ростелеком» начаты работы по модернизации путем перевода оборудования на цифровые технологии передачи данных внутризональной радиорелейной линии Р18 (по окончании работ будет введено новое обозначение - Р68) на участке «Якутск – Мирный - Ленск». Плановая пропускная способность линии связи составит 450 Мбит/с.

Завершение строительно-монтажных работ и начало тестового режима включения радиорелейной линии связи Р68 завершено в 2012 году. Используются внутризональные цифровые радиорелейные линии связи филиала «Сахателеком» ОАО «Ростелеком» в направлениях Якутск - Покровск, Намцы, Нижний Бестях, Борогонцы, Майя, Чурапча, Ытык-Кюель.

Филиал «Сахателеком» ОАО «Ростелеком» в 2011 году обеспечил эксплуатацию 447 цифровых автоматических телефонных станций (АТС) с общей монтированной емкостью 319174 номеров, при этом общая использованная емкость составляет 256530 номера, и процент использования ресурсов телефонной нумерации равен 80%.

На 01.10.2011 года возможность подключения к широкополосному доступу к сети Интернет предоставлена в 285 населенных пунктах с общей монтированной емкостью узлов широкополосного доступа в 165 818 портов, при этом задействованная емкость составила 90212 (54,4 %), в том числе:

- по технологии DSLAM монтированная емкость составило 92833 порта, задействованная 64231 (69,31%);
- по технологии Metro-Ethernet (ETTN и GPON) общая монтированная емкость составила 73145 портов, задействованная емкость – 25981 порт. Из них,

по ЕТТН: монтированная емкость – 70825 портов, задействованная – 25140 портов; по GPON: монтированная емкость – 2320 портов, задействованная – 841 порт.

Завершены работы по строительству и модернизации сети OptiNet в городах Якутск, Мирный, Нерюнгри и в п. Беркакит.

Имеется динамика снижения количества абонентов стационарной телефонной связи:

2008 год – 267199 абонента;
2009 год – 264150 абонента;
2010 год – 256530 абонентов;
2011 год – 246100 абонентов.

При этом плотность телефонизации населения по итогам 2010 года составляет на 100 жителей – 26,7%, в том числе городского – 28,3%, сельского – 23,8%. Уменьшение количества абонентов связано с отказом населения от стационарного телефонного аппарата в пользу средств мобильной связи.

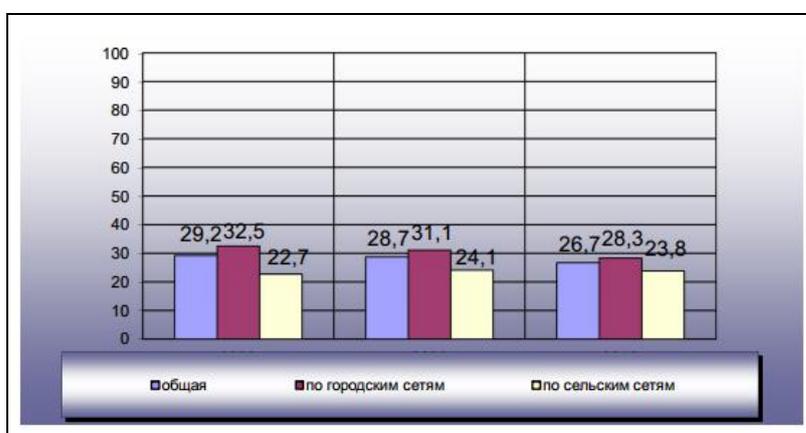


Рис. 1. Плотность телефонизации населения Республики Саха (Якутия) на 100 жителей, в %

В рамках федеральной программы универсального обслуживания отдаленные и труднодоступные населенные пункты обеспечены 626 универсальными таксофонами. С января 2011 года исполнителями государственных контрактов по 3 лотам на предоставление универсальных услуг телефонной связи посредством таксофонов являются филиал «Сахателеком» ОАО «Ростелеком» и ЗАО «Синтерра».

В настоящее время из общего количества 646 населенных пунктов остаются не обеспеченными телефонной связью 77 населенных пунктов с общим количеством населения чуть более 450 человек. В указанных населенных пунктах население проживает сезонно или проживают менее 50 человек.

С октября 2010 года после ввода в эксплуатацию модернизированной радиорелейной линии связи Р684 операторами связи предлагаются безлимитные тарифные планы доступа к сети Интернет, в том числе и тариф социальной направленности.

В апреле 2011 года завершена процедура объединения телекоммуникационных операторов - присоединение ОАО «Дальсвязь» к крупнейшему

оператору страны ОАО «Ростелеком», в результате этого и магистральные каналы, и каналы «последней мили» сосредоточились у одного оператора. Таким образом, в республике созданы технические предпосылки для ускоренного развития телекоммуникационной инфраструктуры. И технические условия для формирования новой тарифной политики операторов связи, направленной на обеспечение ценовой доступности услуг связи, в первую очередь на услуги доступа к сети Интернет.

Сотовая связь. На территории Республики Саха (Якутия) услуги сотовой связи предоставляют филиал ОАО «МТС» в Республике Саха (Якутия), Якутское региональное отделение Дальневосточного филиала ОАО «Мегафон», Якутский филиал ОАО «ВымпелКом» (торговая марка Билайн) и ОАО «Северо-Восточные телекоммуникации» (торговая марка SkyLink»). Одним из крупных игроков на рынке услуг сотовой связи станет в ближайшее время ОАО «Ростелеком», получивший лицензии на предоставление услуг сотовой связи в стандарте GSM-1800.

Динамика подключения абонентов ОАО «Мегафон» увеличилась за счет специальных предложений по снижению тарифных планов и ввода новых объектов в отдаленных населенных пунктах республики. В настоящее время ОАО «Мегафон» имеет более 600000 активных абонентов.

По состоянию на 1 ноября 2011 года филиал ОАО «МТС» в Республике Саха (Якутия) обеспечил полный охват сетью сотовой связи всех районных центров Республики Саха (Якутия). Начаты работы по строительству базовых станций сотовой связи вдоль автотрассы Якутск - Мирный. Якутский филиал ОАО «ВымпелКом» («Билайн») предоставляет услуги сотовой связи в 22 населенных пунктах. По состоянию на 1 ноября 2011 года имеет 57000 активных абонентов.

Таким образом, в настоящее время сотовой связью ОАО «Мегафон» и ОАО «МТС» обеспечены все районные центры республики. По состоянию на 1 октября 2011 года охват сетью сотовой связи составил 262 населенных пункта, при этом увеличение зоны охвата по сравнению с 1 января 2011 года составило 19 населенных пунктов (рис.2).

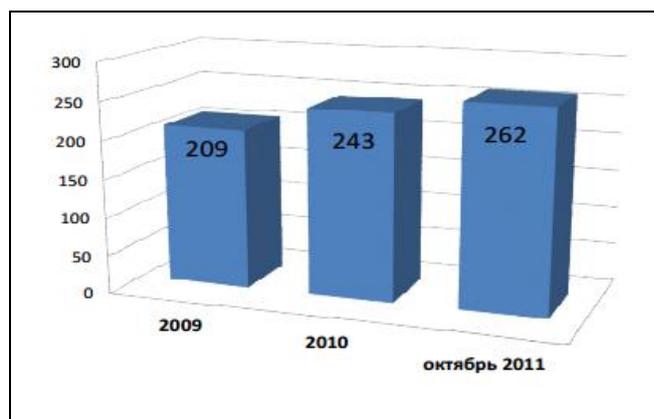


Рис. 2. Расширение зоны охвата мобильных операторов по населенным пунктам Республики Саха (Якутия) на 01.10.2011 года

Зона охвата сотовой связью составляет, в том числе:

- ОАО «Мегафон» - 192 населенных пункта,
- ОАО «МТС» - 156 населенных пункта,
- ОАО «ВымпелКом» - 22 населенных пункта.

Кроме того, операторы сотовой связи ОАО «МТС», ОАО «Мегафон», ОАО «ВымпелКом» (Билайн) начинают оказывать услуги мобильного Интернета, расширяя географию сети сотовой связи по технологии 3G [1].

Красноярский край

Спутниковая связь. В ноябре 2013 года в Красноярском крае были успешно проведены испытания спутниковой системы «Гонец» на автомобильном транспорте. В ходе испытаний отработывалась передача координатной информации и сообщений с транспортных средств (школьный автобус), эксплуатирующихся в районах, не покрытых наземными сетями связи (рис. 3), а также связь с инфоматами и удаленными поселениями. В результате, было проведено около 200 сеансов связи, успешно переданы все сообщения и метки с координатами. Вероятность доведения информации до диспетчерского центра составила 100%.

Итогом положительных испытаний системы «Гонец» явилось заключение соглашения о сотрудничестве между Правительством Красноярского края и ОАО «Спутниковая система «Гонец» с целью развития сектора подвижной спутниковой связи в Красноярском крае в интересах различных потребителей [4].

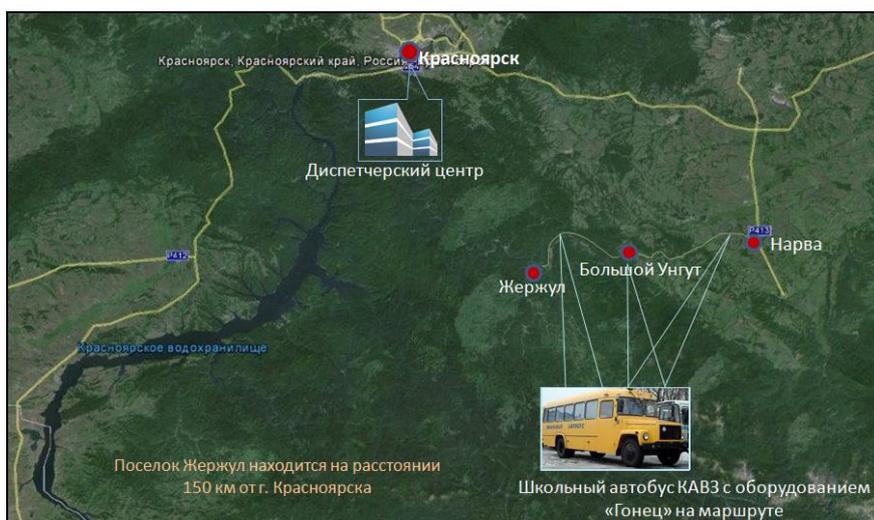


Рис. 3. Зона эксперимента системы «Гонец» на автомобильном транспорте

Внутрizonовая связь (проводная). Основной оператор сети общего пользования ОАО «Ростелеком» имеет высокоскоростные волоконно-оптические линии связи со всеми районными центрами края (за исключением северных). Общая монтированная емкость АТС 1,356 млн. номеров. В соответствии с Федеральным законом от 07.07.2003 г., № 126-ФЗ «О связи» в крае реализована система «универсального обслуживания», предусматривающая

предоставление населению минимально необходимых услуг связи. На территории края установлено и работает 1770 таксофонов [5].

Сотовая связь. Большим спросом на рынке телекоммуникационных услуг пользуется подвижная радиотелефонная связь. На 1 января 2013 г. в крае работало 3955 базовых станций, прирост за год составил 531 станции, количество абонентов составляет 4,404 млн. человек. На 1 января 2014 г. количество базовых станций составило 5027 штук. Мобильная связь присутствует практически во всех крупных и средних населенных пунктах края, дорогах федерального значения. Перспективные планы направлены на строительство сетей третьего поколения (3G) в небольших населенных пунктах, отдаленных районах, улучшения качества покрытия федеральных и краевых дорог. Сети подвижной радиотелефонной связи третьего поколения за счет более высокой скорости передачи данных позволяют организовать видеозвонок, смотреть на мобильном телефоне видео, телепрограммы, получить доступ в Интернет с высокой скоростью [5].

Ханты-Мансийский автономный округ

Спутниковая связь. Заключено Соглашение о сотрудничестве между Правительством автономного округа и ОАО «Газпром космические системы» с учетом возможностей компании по решению телекоммуникационных задач, в том числе по развитию услуг доступа в сеть «Интернет» в труднодоступных и отдаленных населенных пунктах с применением спутниковых технологий.

В рамках вышеуказанного соглашения Депинформтехнологий Югры в 2013 году запустил пилотный проект по доступу в сеть «Интернет» с использованием спутниковых линий связи и коллективного абонентского доступа по технологии WiFi. Оборудование установлено в населенных пунктах:

- Березово, Саранпауль, Светлый Березовского района;
- Ванзеват Белоярского района;
- Малоюганский, Угут Сургутского района
- Кышик Ханты-Мансийский р-н.

Реализация пилотного проекта и дальнейший опыт эксплуатации доступа в сеть «Интернет» с использованием спутниковых технологий позволит увеличить скорость доступа в сеть «Интернет» в труднодоступных отдаленных населенных пунктах автономного округа.

Численность населения в удаленных населенных пунктах

Населенный пункт	Численность населения, чел.	Муниципальный район
п.г.т. Березово	7342	Березовский район
п. Светлый	1451	
с. Саранпауль	3852	
п. Малоюганский	307	Сургутский район
с.п. Угут	2919	
с. Кышик	816	Ханты-мансийский район
с. Ванзеват	285	Белоярский район

Внутризоновая связь (проводная). В 2013 году операторами связи ОАО «Ростелеком» и ОАО «Югрател» выполнялись работы по развитию и реконструкции инфраструктуры волоконно-оптических распределительных сетей (по технологиям GPON, FTTB) в крупных городах и селах автономного округа. Расширены магистральные каналы в г. Белоярский и г. Покачи. Организованы каналы передачи данных 10ГБ/с на участке Нижневартовск-Радужный и 1ГБ/с на участке Белый Яр - Барсово.

С целью развития инфраструктуры широкополосного доступа в сеть «Интернет» на территории автономного округа в октябре 2012 года между Правительством автономного округа и ОАО «Ростелеком» заключено соглашение о сотрудничестве.

Соглашением определены 154 населенных пункта автономного округа, в которых необходима организация социального доступа в сеть «Интернет» со скоростью не менее 2 Мбит/с на домохозяйство.

Сотовая связь. Операторами связи ОАО «МТС», ОАО «Мегафон», ОАО «Вымпел-коммуникации» выполнялись работы по развитию сети 3G. Также операторами связи ОАО «Ростелеком» и ОАО «Мегафон» началось строительство сети 4G. За 4 квартал 2013 года установлено 15 базовых станций в городах автономного округа, в том числе и в г. Ханты-Мансийске.

По состоянию на декабрь 2013 года оператором сотовой связи ООО «Екатеринбург-2000» (торговая марка «Мотив») в автономном округе введено в эксплуатацию 244 базовые станции сотовой связи. Данный оператор предоставляет услуги сотовой связи уже в 82 населенных пунктах автономного округа, включая труднодоступные населенные пункты [6].

Республика Коми

Спутниковая связь. Компания «МегаФон» предлагает Клиентам каналы спутниковой связи (КСС), обеспечивающие передачу данных между земными станциями спутниковой связи в закреплённой полосе частот по технологии SCPC (Single Channel per Carrier). «МегаФон» обеспечивает предоставление дуплексных и симплексных КСС с пропускной способностью до 120 Мбит/с. В зависимости от характера передаваемого трафика дуплексные каналы спутниковой связи могут быть симметричные и асимметричные.

Технологическая база:

- 7 космических аппаратов, обеспечивающих покрытие всей территории РФ, а также ближайшего зарубежья;

- суммарный объем спутникового ресурса составляет более 760 МГц [7].

Внутризоновая связь (проводная). На территории региона площадью 417 тыс. кв. км, с населением около 1 млн. человек монтированная емкость местной телефонной сети составляет 335 тыс. номеров, оборудования широкополосного доступа – более 161 тыс. ШПД портов. Уровень цифровизации местной телефонной сети 85%. Также в регионе действует 757 таксофонов универсального обслуживания, которые установлены даже в самых удаленных населенных пунктах.

ОАО «Ростелеком» оказывает услуги на базе собственной высокотехнологичной магистральной сети, которая позволяет предоставлять голосовые услуги, а также услуги передачи данных и IP-приложений

физическим лицам, корпоративным клиентам, российским и международным операторам.

Коми филиал компании обслуживает 287 тысяч абонентов телефонии, свыше 130 тысяч пользователей Интернет и около 18 тысяч пользователей IP TV [8].

Сотовая связь. В рамках реализации задачи «Развитие региональных систем связи и телекоммуникаций» достигнуты целевые значения: доля населенных пунктов, не имеющих доступа к сотовой связи, в том числе мобильной связи 3G и 4G составила 15% при плане 15% [9].

Ненецкий автономный округ

Спутниковая связь. В настоящий момент в аварийном состоянии находится спутник «Экспресс–АМ1», создавая критическую ситуацию с обеспечением междугородней и сотовой связи на территории Ненецкого автономного округа [11].

В 2011 году предприятие реализовало проект «Реконструкция существующей сети спутниковой связи «FaraWay» VSAT в Ненецком автономном округе», что позволило значительно улучшить качество предоставляемых услуг связи, расширить спектр предоставляемых услуг и осуществить подачу программ регионального теле и радиовещания в удаленные населенные пункты НАО [10].

Внутрислоновая связь (проводная). В настоящее время в удаленных населенных пунктах Ненецкого автономного округа имеется 22 автоматические телефонные станции (далее - АТС), общей монтированной емкостью 674 номера. Межстанционная связь осуществляется по каналам спутниковой связи, которые обеспечивают через искусственный спутник земли ООО "Эквант" (96,5 град. восточной долготы), ООО "СОВИНТЕЛ" (57 град. восточной долготы), государственное предприятие "Космическая связь" (40 град. восточной долготы). Однако при наличии достаточного количества различных технологий, до настоящего времени нет полноценной входящей связи со всеми населенными пунктами. Это связано с тем, что связь строилась хаотично и бессистемно, отсутствовала четкая программа и проектные решения, исполняющие требования по построению взаимоувязанной сети телефонной связи.

В таких населенных пунктах как Кия, Мгла, Волонга, Волоковая, Снопа, Белушье, Верхняя Пеша, Выучейский телефонной связи нет по причине отсутствия в них оборудования. В результате перепадов напряжения в электрической сети в населённых пунктах округа выходит из строя дорогостоящее спутниковое оборудование, поэтому требуется приобретение и установка автономных источников питания. В деревнях Чижя, Куя, Каменка и Вижаз также отсутствуют автоматические телефонные станции и абонентские сети.

ОАО «Связьинвест» выражает свою готовность к реализации проекта по строительству транспортной сети связи в Ненецком автономном округе и Республикой Коми с привлечением средств своих дочерних компаний в размере 70% (314,2 млн. рублей) и финансированием из бюджета в размере

30% (134,7 млн. рублей) от совокупных капитальных затрат, которые оцениваются в сумме 448,9 млн. рублей [11].

Сотовая связь. В округе работают три сотовых оператора связи: МТС, Мегафон, Билайн. Кроме того, услуги фиксированной связи оказывают два оператора телефонной связи: ОАО «Северо-Западный Телеком» и ГУП НАО «Ненецкая компания электросвязи». С 2008 года в 24 населенных пунктах НАО организована цифровая телефонная связь и Интернет. Для развития радиотелефонной (мобильной) связи решаются вопросы о строительстве антенных опор и организации каналов связи для взаимодействия базовых станций сотовой связи [11].

Республика Карелия

Спутниковая связь. Доступ к спутниковой связи осуществляется с помощью оператора сотовой связи МТС. МТС заключил соглашение с компаниями «ГлобалТел», эксклюзивным российским поставщиком услуг системы глобальной подвижной спутниковой связи Globalstar, и оператором Thuraya, чья международная зона обслуживания охватывает около ста различных стран. Не меняя номера GSM, абоненты МТС могут оставаться на связи практически на всей территории России и многих стран мира.

Для использования спутниковой связи Globalstar необходимо установить свою SIM-карту в двухмодовый терминал Globalstar/GSM. На сегодняшний день это Ericsson R-290 или Telit SAT-550. Зона покрытия системы Globalstar в России охватывает территорию от южной границы России до 74° северной широты и от западной границы до 180° восточной долготы.

Для пользования роумингом в спутниковой системе Thuraya требуется специальное оборудование — абонентский терминал Thuraya. С 14 июня 2012 г. в сети Thuraya для абонентов МТС доступен мобильный интернет (GPRS). Услуга доступна при использовании следующих абонентских терминалов: Thuraya XT-DUAL, Thuraya XT, Thuraya SG-2520, Thuraya SO-2510 [12].

Внутрizonная связь (проводная). На территории региона площадью 180 тыс. кв. км, с населением 690 тыс.чел., монтированная емкость местной телефонной сети составляет более 244 тыс. номеров, оборудования широкополосного доступа – около 60 тыс. ШПД портов. Уровень цифровизации местной телефонной сети 75,7%. Также в регионе действует 780 таксофонов универсального обслуживания, которые установлены даже в самых удаленных населенных пунктах.

ОАО «Ростелеком» оказывает услуги на базе собственной высокотехнологичной магистральной сети, которая позволяет предоставлять голосовые услуги, а также услуги передачи данных и IP-приложений физическим лицам, корпоративным клиентам, российским и международным операторам.

Карельский филиал Компании обслуживает более 167 тысяч абонентов телефонии, около 50 тысяч пользователей Интернет и более 14 тысяч пользователей IP TV [13].

Сотовая связь. В Карелии работают следующие сотовые операторы: Вымпел-Коммуникации (Билайн), Санкт-Петербург Телеком, Ростелеком,

Межрегиональный ТранзитТелеком, Дельта Телеком, Мобильные ТелеСистемы (МТС), Мегафон, Скартел (Yota) [14].

Несмотря на обилие сотовых операторов, действующих в Республике Карелия, на карте республики остаются населенные пункты, где сотовая связь отсутствует совсем, либо ее качество достаточно низкое. В списке проблемных зон, где полностью отсутствует сотовая связь, в 2012 году насчитывалось 39 населенных пунктов. По состоянию на апрель 2013 их число сократилось до 9. Между тем, по данным управления Роскомнадзора по Карелии, в 2012 году порядка 150 населенных пунктов республики имели слабую телекоммуникационную структуру [15].

Мурманская область

Спутниковая связь. Доступ к спутниковой связи в Мурманской области осуществляют операторы сотовой связи «Мегафон» и «МТС». «Мегафон» использует такую же технологическую базу, что и в республике Коми [7].

«МТС» использует такую же технологическую базу, что и в Республике Карелия [12].

Внутризоновая связь (проводная). На территории региона площадью 144,9 тыс. кв. км с населением 796 тыс. чел., монтированная емкость местной телефонной сети составляет 320 тыс. номеров, оборудования широкополосного доступа – более 131 тыс. ШПД портов. Уровень цифровизации местной телефонной сети 82,5%. Также в регионе действует 178 таксофонов универсального обслуживания, которые установлены даже в самых удаленных населенных пунктах.

ОАО «Ростелеком» оказывает услуги на базе собственной высоко-технологичной магистральной сети, которая позволяет предоставлять голосовые услуги, а также услуги передачи данных и IP-приложений физическим лицам, корпоративным клиентам, российским и международным операторам.

Мурманский филиал Компании обслуживает более 250 тысяч абонентов телефонии, свыше 110 тысяч пользователей Интернет и более 8 тысяч пользователей IP TV [16].

Сотовая связь. На территории Мурманской области действуют следующие операторы сотовой связи: «Мегафон», «МТС», «Билайн», «СкайЛинк» [17].

Архангельская область

Спутниковая связь. Доступ к спутниковой связи в регионе предоставляет компания «Мегафон» с использованием той же технологической базы, что и в республике Коми [7].

Внутризоновая связь (проводная). ОАО «Ростелеком» на территории Архангельской области активно развивает и модернизирует сеть связи общего пользования региона, вводит в эксплуатацию новые цифровые станции, строит внутризоновую и местную волоконно-оптическую сеть, наложенные цифровые сети связи широкополосного доступа к сети Интернет по технологиям xDSL, PON и FTTB, цифрового телевидения и IP телефонии.

На местной сети Архангельского филиала установлено 774 телефонные станции, общей монтированной емкостью 409208 номеров, общая задействованная емкость составляет 274111. Процент использования монтированной

емкости составляет – 66,98. Из общего количества АТС345 электронные, монтированной емкостью 299476 номеров, задействованная емкость – 206877 номеров. Количество аналоговых АТС составляет – 429 их монтированная емкость - 109732 номера, задействованная емкость – 67234 номера. Уровень цифровизации местной сети – 73,18%.

Протяженность кабельных линий составляет 20691 км, из них волоконно-оптических линий 4373 км. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) проложены до всех районных центров области, кроме п. Октябрьский Устьянского района. Протяженность воздушных линий передачи составляет более 6 тыс. км.

Общая монтированная емкость сети ШПД (xDSL) по Архангельской области составляет 174 804 портов, из них задействовано – 135 983 портов, что составляет 77,8% монтированной ёмкости. Предоставление услуги доступа к сети Интернет осуществляется во всех районных центрах Архангельской области.

Начиная с 2010 года в городах Архангельске, Северодвинске и Новодвинске началось предоставление услуги интерактивного цифрового телевидения (IP-TV). В 2013 году география предоставления услуги интерактивного цифрового телевидения (IP-TV) расширена. Услуга цифрового телевидения предоставляется в 16-ти районных центрах: городах Мирный, Мезень, Нарьян-Мар, Котлас, Вельск, Коржма, Онега, Няндомы, Каргополь, селах Холмогоры, Верхняя Тойма, Красноборск, Лешуконское, Долматово, Липовка, и Ильино-Подомское, посёлках Плесецк, Конево, Тегроозеро, Савинск, Двинской и Березник. На сегодняшний день к услуге подключено 25101 абонент.

Также в 2013 году продолжалось строительство сети абонентского доступа на базе технологии PON (оптоволокно в квартиру). Всего введено в эксплуатацию 23716 портов на территории города Архангельска и Северодвинска, из них задействовано – 9192 портов. По этой технологии абонентам предоставляется пакет цифровых услуг связи высокого качества: телефония, широкополосный доступ к сети Интернет и IP-TV.

С 2013 года ведется строительство новой технологии на базе Fttb (волокно до дома) в населенных пунктах - городах Коржма, Мирный, Котлас, Новодвинск. Общая монтированная емкость – 9912 портов, из них количество задействованных – 4697 портов, что составляет 47,4%.

Сотовая связь. Архангельское РО Северо-Западного филиала ОАО «МегаФон». В настоящее время на территории Архангельской области работает 301 базовая станция 2-го поколения (GSM) и 292 базовых станции 3-го поколения (UMTS). Также в конце 2013 года в Архангельской области, на территории городов Архангельска, Северодвинска и Котласа, первым из регионов Северо-Западного федерального округа была введена в эксплуатацию сеть LTE, состоящая из 94 базовых станций. На сегодняшний день LTE - это самая современная технология мобильной передачи данных, позволяющая достигать скоростей до 75 Мбит/с.

ОАО «МТС». За 2013 год число базовых станций МТС в Архангельской области увеличилось на 5% и составляет около 480 БС. Улучшена связь в Приморском, Вельском, Каргопольском и Ленском районах.

В результате обновления программного обеспечения узлов коммутации и базовых станций IP-технологии поддерживают 100 % базовых станций 3G МТС в Архангельской области, что позволяет абонентам выходить в интернет с мобильных гаджетов на скорости до 21 Мбит/с.

В марте 2013 года на базе сети 3G МТС была успешно запущена технология Dual Carrier HSDPA+, поддерживающая максимальные скорости передачи данных до 42 Мбит/с. На текущий момент технологию Dual Carrier HSDPA+ поддерживает 80% БС третьего поколения МТС в городе Архангельске.

ЗАО «Теле2 – Архангельск». За прошлый год компания Tele2 Архангельск ввела в эксплуатацию свыше двадцати новых объектов сетевой инфраструктуры. Связью Tele2 были обеспечены 10 новых населенных пунктов области. В частности, в 2013 году связь появилась в селах Воскресенском, Благовещенском, Синеге и деревне Шиловской (Вельский район), поселках Пинеге и Красная горка (Пинежский район), поселках Коковке (Плесецкий район), Вершине (Котласский район), Шестиозерском (Няндомский район) и Ирте (Ленский район). Кроме того, были проведены технические работы, которые позволили существенно улучшить качество связи на территории крупных городов региона: Архангельска, Северодвинска, Котласа, Коряжмы.

В первом квартале 2014 года техническая служба Tele2 Архангельск планирует провести масштабную работу по расширению территории покрытия сети и улучшению качества связи в Вельском районе. Связь Tele2 появится в поселках Усть-Шоноша и Солгинский. Новые станции позволили покрыть мобильной связью не только населенные пункты, в которых проживает порядка трех тысяч жителей, но и обеспечить устойчивый сигнал на участках железной дороги между Коношей и Вельском, а также на автотрассе, соединяющей эти два районных центра. Связь от Tele2 также в первом квартале 2014 года появилась в п. Выставка Шенкурского района.

Особое внимание оператор уделил небольшим населенным пунктам: в конце марта 2014 года связь Tele2 была запущена в селе Лена Ленского района, где проживает всего несколько сотен жителей.

Вследствие расширения зоны покрытия сети услуги Tele2 на сегодняшний день доступны свыше 91% населения Архангельской области [18].

Заключение

Таким образом, представленный обзор подтверждает, что в северных регионах Российской Федерации состояние связи не соответствует уровню развития инфотелекоммуникационных технологий, как в мировом масштабе, так и в масштабе нашей страны. Особенно заметно отставание северных малонаселенных пунктов. Причин, сложившейся на сегодняшний день ситуации, несколько. Во-первых, это суровые климатические условия, затрудняющие развертывание сетей связи на фоне слабо развитой транспортной и энергетической инфраструктуры (дорог, причалов, линий электропередач и т.д.) в условиях низких температур (промерзших грунтов, отказов техники), сильных ветров, большой влажности (невозможности выполнения работ на открытом воздухе). В то же время, подобные «проблемные» населенные пункты, как правило, территориально удалены от областных центров. Кроме того, в условиях

крайнего севера присутствуют и технические особенности функционирования различных сетей: изменения в условиях распространения радиоволн и помехи в системах связи и навигации, создаваемые ионосферой, геоиндуцированные (паразитные) токи в протяженных проводящих объектах и системах и т.д. Одним из ключевых факторов, определяющим слабое развитие систем связи является низкая численность населения и, следовательно, низкое число потенциальных потребителей услуг связи. Поэтому, частные компании, предоставляющие услуги связи, не заинтересованы в развертывании сетей связи в суровых климатических условиях и условиях территориальной удаленности, которые влекут за собой существенное повышение объема необходимых инвестиций, на фоне присутствия тенденций к сокращению и без того малого числа населения.

В итоге, на сегодняшний день, наблюдается весьма незначительное улучшение ситуации, связанное с вмешательством государства в области развития связи на стратегически важных для страны арктических территориях в виде разработки различных программ и планов (например [2] и [1]), управления их выполнением и финансирования. Однако большинство целевых программ, направленных на развитие связи, находятся на этапе реализации, и оценить их результативность представится возможным лишь через несколько (2-6) лет.

Литература

1. План деятельности Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации на период 2013 – 2018 годов. - Режим доступа: http://2018.minsvyaz.ru/docs/pdf/Plan_MKS_Telecom.pdf
2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. – Режим доступа: www.minregion.ru/upload/02_dtp/101001_str.doc
3. Схема развития отрасли связи – телекоммуникационной инфраструктуры Республики Саха (Якутия) на ближайшую перспективу (2012 - 2016) годы. -Режим доступа: http://sakha.gov.ru/sites/default/files/page/files/2011_09/146/%20%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B%20%D0%BD%D0%B0%204%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%BB%202011.pdf
4. Связь в Красноярском крае. - Режим доступа: <http://gonets.ru/rus/regionam/svyaz-v-krasnoyarskom-krae/>
5. Оказание услуг связи в Красноярском крае по состоянию на 18.02.2014г. - Режим доступа: <http://www.it.krskstate.ru/press/svyaz>
6. Отчет о деятельности Департамента информационных технологий Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за 2013 год. - Режим доступа: <http://www.depit.admhmao.ru/wps/portal/it/home/deyatelnost/>
7. Предоставление каналов спутниковой связи. - Режим доступа: http://komi.megafon.ru/corporate/corp_internet/sputnikovye_resheniya/predostavlenie_kanalov_sputnikov.html
8. Коми филиал. - Режим доступа: http://www.rostelecom.ru/about/branches/north_west/about/branches/komi/

9. Годовой отчет о ходе реализации и оценке эффективности государственной программы за 2013 год. - Режим доступа:
http://infosvyaz.rkomi.ru/content/8378/2014.04.28%20%D0%9A%D0%98%D0%B8%D0%A1%20%D0%93%D0%9E%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9E%D0%99_%D0%9E%D0%A2%D0%A7%D0%95%D0%A2.docx
10. О компании. - Режим доступа: <http://nces.ru/index.php/aboutnces.html>
11. Инвестиционный паспорт Ненецкого автономного округа. - Режим доступа:
<http://www.spb.hk24.ru/uploaded/investpassport%20rus.pdf>
12. Особые виды роуминга. – Режим доступа:
http://www.karelia.mts.ru/mob_connect/roaming/i_roaming/satellite_sea/
13. Карельский филиал. – Режим доступа:
http://www.rostelecom.ru/about/branches/north_west/about/branches/karelia/
14. Операторы сотовой связи в Республике Карелия. – Режим доступа:
http://cheynomer.ru/region/respublika_kareliya.html
15. В Правительстве Карелии обсудили вопросы развития сотовой связи в регионе. – Режим доступа:
http://www.gov.karelia.ru/gov/News/2013/04/0424_15.html
16. Мурманский филиал. – Режим доступа:
http://www.rostelecom.ru/about/branches/north_west/about/branches/murmansk/
17. Коды сотовых операторов связи. – Режим доступа:
http://www.statkod.ru/murmanskaya_oblast_mobile.html
18. Состояние и перспективы развития средств связи на территории Архангельской области. - Режим доступа:
<http://www.dvinaland.ru/economy/transport/com.php>

Сведения об авторах

Шемякин Алексей Сергеевич – младший научный сотрудник,
e-mail: shemyakin@iimm.ru
Alexey S. Shemyakin – junior scientist

Датьев Игорь Олегович – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: datyev@iimm.ru
Igor O. Datyev – *Ph.D* (Tech), researcher

УДК 004.7

И.О. Датьев

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

РАЗВИТИЕ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ*

Аннотация

В статье рассмотрены основные направления развития инфотелекоммуникационных систем арктических территорий РФ. Представлены наиболее масштабные проекты развертывания инфотелекоммуникационных систем на основе различных технологий передачи данных. Приводятся выводы относительно вариантов развития единого информационного пространства российской Арктики и роли различных технологий передачи данных этом процессе.

Ключевые слова:

единое информационное пространство, Арктика, КВ связь, ВОЛС, спутниковые системы связи.

I.O. Datyev

THE DEVELOPMENT INFOCOMMUNICATION SYSTEMS OF THE ARCTIC AREAS

Abstract

The article considers the basic directions of Russian Federation Arctic areas infocommunication systems development. The most large-scale infocommunication systems projects based on different data transmission technologies are presented. Given the conclusions on the Russian Arctic unified information space development ways and on the role of various data transmission technologies.

Keywords:

unified information space, Arctic, HF communication, optical fiber, satellite communication systems.

Введение

Одной из главных целей государственной политики Российской Федерации в Арктике является развитие сферы информационных технологий и создание единого информационного пространства Арктических территорий, как обязательного компонента комплексной системы подготовки, планирования и реализации мероприятий государственной политики РФ в Арктике [1 - 5]. Приоритетными направлениями этой политики являются: реализация суверенитета страны и национальных интересов в Арктике, освещение обстановки внутренних морских вод, определение границы Арктической зоны России. На сегодняшний день, поставленных государством целей практически невозможно достичь без разработки самих научно-методических основ, моделей и технологий информационно-аналитической поддержки задач расширения жизненного пространства Арктических регионов Российской Федерации. Здесь

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

следует выделить разработку моделей функциональной организации и технологий формирования в рамках единого информационного пространства арктических регионов РФ виртуальных центров управления региональным развитием. В свою очередь, для решения подобных задач необходимо наличие развитой инфраструктуры связи всех арктических территорий.

В советское время освоению Севера уделялось пристальное внимание: строились города, посёлки, прокладывались автомагистрали, организовывались разнообразные экспедиции и т.п. Естественно, что вопросы обеспечения связью в подобных обстоятельствах рассматривались как крайне важные. Так, например, активно развивалась в Советском Союзе КВ связь, имеющая общегосударственное назначение [9]. Однако, с началом 90-х годов общегосударственная сеть коротковолновой (КВ) связи в России стала приходить в упадок и к настоящему времени почти полностью прекратила своё существование. В то же время, для Крайнего Севера России, в условиях высоких широт, коротковолновая радиосвязь часто является единственным способом связи. В случаях чрезвычайных ситуаций КВ-связь является важнейшим инструментом для поддержания систем управления государственными структурами Крайнего Севера.

В свою очередь, спутниковая связь, на сегодняшний день, практически полностью принадлежит США (подконтрольная НАТО спутниковая система связи «ИРИДИУМ»). Кроме того, спутниковая связь не всегда надёжна из-за технических особенностей распространения радиоволн в полярной среде.

В свете вышеизложенного, создание систем связи в арктических условиях – сложная научно-техническая проблема, требующая для своего решения комплексного подхода, основанного на взаимодействии различных структур и ведомств [13], таких как научные учреждения, органы власти и бизнес-структуры.

На сегодняшний день прослеживаются три основных пути развития единого информационного пространства арктических территорий. Первый подразумевает создание объединенной системы связи и передачи информации на основе военных (или других ведомственных) сетей. В то же время предусматривается возможность предоставления коммуникационные ресурсы в общее пользование на коммерческой основе и, тем самым, некоторая компенсация развертывание подобных сетей. На сегодняшний день существуют небольшие проекты предоставления незанятых служебных коммуникационных ресурсов на воздушном, морском транспорте. Второй путь – изолированно и независимо от ведомственных сетей, но централизованно развивать сети общего пользования. Третий вариант подразумевает (который на сегодняшний день реализуется) практически полностью изолированное узковедомственное развитие: каждый игрок на рынке инфотелекоммуникационных услуг (оператор сотовой связи, Интернет-провайдер), любая компания (топливная, энергетическая и т. д.) развивает свои инфотелекоммуникационные сети самостоятельно. Далее изложен один из проектов развития единого информационного пространства арктических территорий в интересах силовых ведомств, относящийся скорее к первому пути развития и представляющийся как наиболее рациональный. Также изложены другие масштабные проекты развития различных технологий связи, которые должны лечь в основу единого информационного пространства арктических территорий.

Основные направления развития систем связи и телекоммуникационных систем в интересах силовых ведомств

Арктические территории обладают рядом специфических особенностей, влияющих на текущее состояние и перспективы развития систем связи. Основными [6 - 8] из них являются:

- физико-географические особенности распространения радиосигналов в высокоширотной зоне, обусловленной воздействием геомагнитного поля, магнитно-силовые линии которого имеют практически вертикальное положение;
- сложность прогноза солнечной активности, вызывающей магнитные и ионосферные бури, приводящие к резкому ухудшению, а порой, и полному прекращению прохождения связи на КВ диапазонах;
- состояние ионосферы и ее преломляющих свойств, от которых зависит прохождение радиосвязи ионосферной волной;

Помимо суровых климатических условий, необходимо отметить и недостатки существующего парка средств многоканальной радиосвязи силовых ведомств: реализация преимущественно аналогового режима работы, большие массогабаритные и энергопотребительские свойства, отсутствие автоматизированных антенно-мачтовых устройств и адаптивных и активных антенных решеток с управляемой диаграммой направленности, низкая помехоустойчивость и эксплуатационная надежность.

На основе вышеизложенного могут быть сформулированы основные требования к развитию телекоммуникационных систем в целом, а также в интересах силовых ведомств. Первым пунктом таких требований является создание цифровой полносвязной сети связи региона на базе имеющихся линий и цифровых сетей различных операторов, наземных спутниковых терминалов и местных соединительных линий для включения всех объектов региона в общую сеть. Следующей проблемой является формирование непрерывной транспортной среды с возможностью подключения любого объекта к сети связи общего пользования России и получения необходимых услуг в любой точке Арктики. Кроме того, представители силовых ведомств [12] отмечают необходимость создания пользовательского узла доступа на однотипном оборудовании, обеспечивающем подключение всех технологических подсистем, их работу и возможность соединения объектов между собой в объединенной сети в соответствии с технологическими нуждами. Еще одним важным пунктом является обеспечение надежности и оперативности путем создания нескольких маршрутов соединений для каждого объекта, автоматической маршрутизации и коммутации, постоянного мониторинга состояния и работы сети.

Список потенциальных потребителей услуг связи в Арктической зоне Российской Федерации охватывает практически все министерства (обороны, транспорта, регионального развития, чрезвычайных ситуаций), местные органы власти и различные коммерческие компании.

Комплексный подход к развитию единого информационного пространства Арктического региона на основе объединенной автоматизированной цифровой системы связи Вооруженных Сил (ОАЦСС) и доверенной сети связи МО предполагает наличие наземного, воздушного, морского и космического эшелонов (сегментов) связи.

К функциям, возложенным на космический эшелон, относятся:

- получение данных о местоположении и элементах движения корабельных группировок, одиночных кораблей (судов) и подводных лодок зарубежных государств;
- организация спутниковой связи, в том числе засекреченной, в интересах обеспечения боевого управления надводными и подводными силами Северного флота, обмена всеми видами информации между пунктами управления ВМФ и Северного флота ВМФ различного уровня;
- обеспечение надводных кораблей, подводных лодок и самолетов морской авиации Северного флота ВМФ навигационными данными;
- сбор и анализ гидрометеорологической и океанографической информации с акваторий морей Северного Ледовитого океана;

На сегодняшний день, в области компьютерных систем и сетей связи и ретрансляции в рамках ОКР «Сфера» ведутся работы по созданию единой системы спутниковой связи (ЕССС-3) с космическими аппаратами (КА) «Сфера-С» на геостационарной орбите и «Сфера-В» на высоких эллиптических орбитах (ВЭО), которые призваны заменить «Глобус-1М» и «Меридиан». В системе ретрансляции информации используется геостационарный космический аппарат «Гарпун», а также ведутся работы по созданию аппарата «Геракл-КВ». В системе специальной связи используются низкоорбитальные КА «Стрела-3» и осуществляется их замена на КА «Родник-1» с переходом в дальнейшем на КА «Ключ».

В области компьютерных систем и сетей разведки в настоящее время на орбите находится КА радио и радиотехнической разведки (РРТР) «Лотос-С» № 1, а также осуществляются планово-периодические (отдельные) запуски КА фоторазведки «Кобальт-М». Испытания проходят КА «Персона» и «Кондор». Радиоэлектронная разведка затруднена особенностями прохождения радиоволн в приполярных и полярных районах, что может существенно снижать точностные характеристики систем. Часть задач мониторинга в полярных районах могла бы решаться инфракрасными средствами.

Для развития КА гидрометеообеспечения и навигации в рамках Государственной программы вооружения запланировано создание КА-демонстратора «Канопус-СТ». Всепогодная навигация в Арктической зоне осуществляется глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС): ГЛОНАСС, GPS. Характеристики систем по доступности и точности удовлетворяют большинству задач потребителей и Минобороны.

В рамках Федеральной космической программы (ФКП) для развития гражданских программ компьютерных систем и комплексов (КСиК) происходит развертывание модернизированной многоярусной космической гидрометеорологической системы. (КА «Метеор», «Электра»). Предложены к созданию следующие КСиК: метеообеспечения «Канопус-ВМ» и «Арктика-МП»; радиолокационного наблюдения «Кондор-Э» и «Обзор-Р». В инициативном порядке ЦСКБ «Прогресс» проводит работу по созданию КА радиолокации в X-диапазоне «Арктика-Р».

Технологическую основу наземного эшелона Объединенной автоматизированной цифровой системы связи (ОАЦСС) в Арктике предполагается создать на базе Радиорелейно – тропосферной связи «Север» и

Оптического волоконной кабельной линии (ВОЛС), проходящей по Северному морскому пути и дальневосточному региону [13].

Основная идея построения тропосферной связи «Север-М» заключается в построении сети связи с использованием инфраструктуры системы линий «Север» на базе Тропосферной Радиорелейной Связи (ТРПС) «Горизонт-М», а также с использованием новейших технологий, в том числе космических средств различного назначения и территориально-распределенных сетей. ТРПС «Горизонт» представляла собой сеть тропосферных и радиорелейных станций, расположенных друг от друга на расстоянии 120 – 450 км. Созданная в 60-х годах и законсервированная в 2000 году система тропосферной связи Арктики «Горизонт» подлежит модернизации с учетом новых технологий и использование обжитых вахтовых позиций для развертывания системы связи.

Предполагается использование современных цифровых ТРС, а так же тропосферно-спутниковых станций, работающих через ретранслятор на ИСЗ либо в тропосферном режиме. В модернизированной системе «Север» старое аналоговое оборудование (приемо-передатчиков и каналов образования, ранее функционировавшей системы Горизонт М) будет заменено на цифровое. Антенные системы останутся в эксплуатации. Современная (малогабаритная и слаботочная) цифровая аппаратура приемо-передающих трактов и цифрового канала образования, построенная на применении новых технологий, позволит разместить ее непосредственно на антенных опорах с дистанционным управлением и контролем.

Для сопряжения модернизированной цифровой сети «Север-М» с космическим эшелонем (системой спутниковой связи) существует план запуска на высокоэллиптические орбиты двух спутников. В перспективе Роскосмос совместно с Минкомсвязью России планирует [14] реализовать принципиально новый проект, направленный на достижение более высокого качества использования космических технологий в интересах развития Арктической зоны России – многоцелевой космической системы (МКС) «Арктика».

Основу (МКС) «Арктика» должны составить КА «Арктика-М», КА «Арктика-МС» и КА «Арктика-Р», предоставляющие и передающие гидрометеорологические и гелиогеофизические данные, радиолокационную и служебную информацию.

Многоцелевая космическая система «Арктика» предназначена для повышения качественного уровня анализа и прогноза гелиогеографической обстановки в околоземном пространстве, условий полета авиации; мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения и мониторинга климатических изменений. Кроме того, система призвана обеспечить сбор и ретрансляцию информации с наблюдательных платформ наземного, морского и воздушного базирования, а также подвижную и фиксированную связь, прием и передачу цифровой информации, непосредственное спутниковое телевизионное и радиовещание.

Предполагаемый состав МКС «Арктика» два космических аппарата «Арктика-М» на высокоэллиптической орбите, три КА «Арктика-МС» (высокоэллиптическая орбита), два КА «Арктика-Р» на солнечно-синхронной орбите, наземный комплекс обработки данных, наземный комплекс управления и наземный сегмент системы связи.

Таким образом, представляется возможным создание разветвлённой инфраструктуры единого информационного пространства (рис. 1) на большей части территории России, включая полярный бассейн и Северный полюс. На местах развертывания узловых и ретрансляционных станций предполагается развивать цифровые мультисервисные сети сотовой связи, дежурные сети радиодоступа в виде сетей транкинговой системы радиосвязи общего пользования в интересах мобильных абонентов сетей. Обеспечение своевременности и достоверности связи предполагается достичь путем создания нескольких маршрутов соединений для каждого объекта, автоматической маршрутизации и коммутации, постоянного мониторинга состояния и работы сетей.

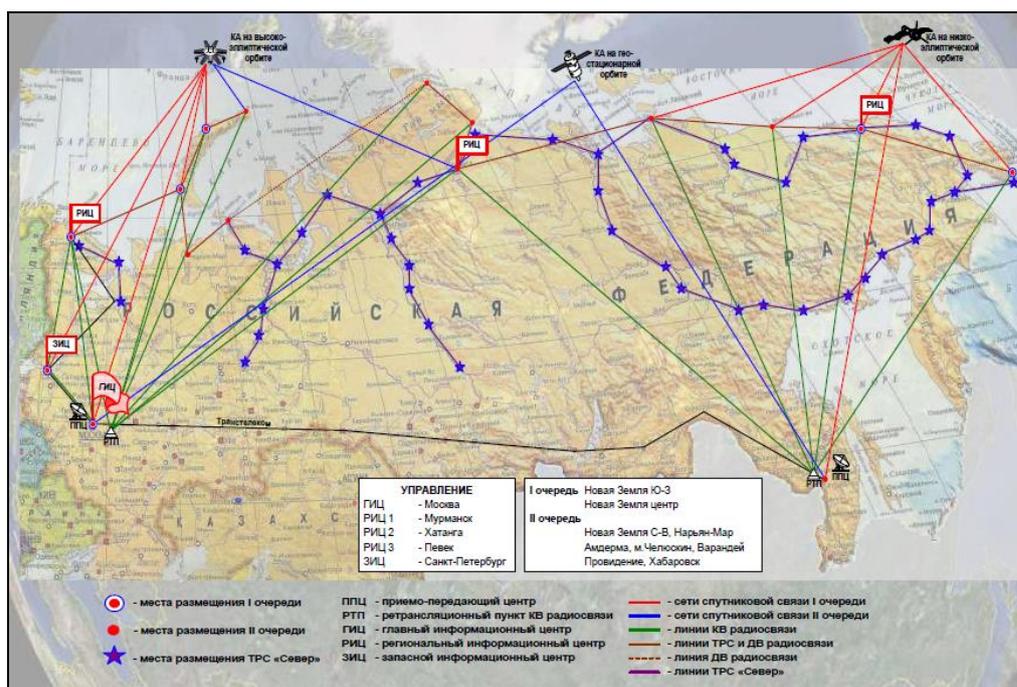


Рис. 1. Развитие единого информационного пространства на основе построения ОАЦСС ВС РФ и доверенной сети МО РФ

Кроме того, перспективными направлениями развития военной связи в районах крайнего севера представляются: построение распределенных информационных систем (систем связи) на базе одноранговых информационно-телекоммуникационных сетей и применение технологий формирования и функционирования самоорганизующихся динамических сетей на базе мобильных комплексов технических средств, в том числе контейнерного типа, с источниками альтернативного энергопотребления. Проект развития единого информационного пространства на основе построения ОАЦСС ВС РФ и доверенной сети МО РФ представляется вполне выполнимым, особенно в свете последних новостей об увеличении количества военных объектов на так называемом российском арктическом поясе и непосредственно в Арктике [15, 16].

На сегодняшний день существует множество проектов развития КВ-связи, прокладки подводных ВОЛС, развития спутниковых систем. Следует отметить, что практически все эти проекты не противоречат вышеизложенному, а скорее являются его составными частями в области развития инфотелекоммуникационных систем на основе различных технологий передачи данных. Далее представлено описание некоторых наиболее масштабных проектов в рамках формирования единого информационного пространства.

Автоматизированная адаптивная система КВ радиосвязи

По подсчетам американских специалистов технического центра НАТО и специалистов российского ОАО «ЮТК»:

для передачи 1 Мб/сут. информации на расстояние до 1000 км затрачиваются следующие средства: при использовании каналов спутниковой связи – 4000 долларов; волоконнооптической связи – 2500 долларов; КВ радиосвязи – 30 долларов.

Другими преимуществами КВ радиосвязи являются:

- свободный доступ к частотному ресурсу, не требующий финансовых затрат (арендной платы);
- собственное оборудование для организации линий радиосвязи, позволяющее организовывать линии и сети радиосвязи независимо от инфраструктуры телекоммуникаций и каких-либо факторов в мировой экономической и политической обстановке;
- программное управление, требующее минимальных знаний и действий обслуживающего персонала;
- современная элементная база, позволившая значительно снизить массогабаритные показатели и энергопотребление оборудования (современные передатчики потребляют мощность в 1,5-2 раза ниже, чем передатчики предшествующих поколений);
- оперативность установления прямой связи на большие расстояния;
- уникальная дальность связи без ретрансляций (до нескольких тысяч километров);
- простота организации радиосвязи с подвижными объектами;
- эксплуатационная надежность, возможность работы в полевых условиях и мобильном варианте;
- возможность обеспечения связи через труднодоступные территории (зоны повышенного заражения, труднопроходимые водные и горные районы);
- высокая степень живучести при воздействии случайных или преднамеренных помех;

К недостаткам КВ радиосвязи следует отнести: резкое затухание сигнала на трассе радиосвязи; различный характер замирания сигнала; зависимость качества связи от времени суток, года и состояния ионосферы, ограниченный ресурс используемого диапазона частот, а также малое отношение скорости передачи к занимаемой полосе частот.

Экономический эффект и коммерческая привлекательность современной сети цифровой КВ радиосвязи достигается как применением методов энергосбережения, высокоскоростной передачи информации, адаптивного управления параметрами средств связи к текущим изменениям условий

распространения радиоволн и мешающим факторам, так и обеспечением дальнейшего сближения связных и компьютерных технологий, существенным уменьшением номенклатуры технических средств узлов связи, применением типовой схемы модернизируемых и создаваемых узлов связи, снижением количества обслуживающего персонала, в том числе высококвалифицированных специалистов.

К началу 1990-х годов в Советском Союзе коротковолновая радиосвязь использовалась для передачи телефонных сообщений, телеграмм, потоков цифровой информации и факсимиле [9]. По назначению и дальности действия различали международные и внутрисоюзные общегосударственные линии КВ связи. Внутрисоюзные линии делились на магистральные (между столицей СССР и столицами союзных республик, краевыми и областными центрами) и зонавые (внутриобластные и внутрирайонные). Однако, на сегодняшний день, сеть КВ радиосвязи фактически полностью выработала ресурс, разрушена инфраструктура сети. Активно используется только ведомственная КВ связь (Минобороны России, спецслужбы, погранвойска). Ведомства, заинтересованные в развитии надежных средств радиосвязи, в последние десятилетия вынуждены были самостоятельно решать стоящие перед ними задачи. В результате такой межведомственной разобщенности некоторые из них создают свои собственные КВ-сети, которые не взаимодействуют между собой. В то же время, в ведущих зарубежных странах, прежде всего в США, в настоящее время большое внимание уделяется созданию и поддержанию в высокой готовности систем централизованного управления и связи в чрезвычайных ситуациях (ЧС) и в особый период с использованием новейших достижений в технике цифровой радиосвязи (рис. 2). Это связано и с переходом на цифровой формат и появлению новых возможностей создания национальной сети беспроводной КВ связи по типу сотовой связи.

Глобальная коротковолновая система связи (High Frequency Global Communications System)

Является международной сетью, состоит из мощных станций, которые обеспечивают управление и контроль со всеми агентствами. Обеспечивает поддержку абонентов, в соответствии с соглашениями и международными протоколами. Система связи HF-GCS не выделена в отдельную радиосеть и поддерживает всех зарегистрированных пользователей в любом районе нахождения.

Weapon System Worldwide Locations

▲ Elmendorf
 ▲ Thule
 ▲ Croughton
 ▲ Offutt
 ▲ Andrews
 ▲ McClellan
 ▲ Keesler
 ▲ Lajes
 ▲ Aincirlik
 ▲ Yokota
 ▲ Hickam
 ▲ Salinas
 ▲ Sigonella
 ▲ Anderson
 ▲ Ascension
 ▲ Diego Garcia

● Scope Pattern Control
 ▲ Scope Signal II
 ● Navy / Space Com
 ▲ Training Site

Automatic Link Establishment
 HF Modem MIL-STD-188-110B, MIL-STD-188-110A, STANAG 4539, STANAG 4538
HF Data Links STANAG 5066, FED-STD-1052, STANAG 4538 (if embedded in radio)

Рис. 2. Глобальная коротковолновая система связи

Таким образом, на сегодняшний день в России существует необходимость [9] построения оснащенной современным оборудованием единой государственной автоматизированной адаптивной сети КВ радиосвязи (ААС КВ радиосвязи) как резервной (а в отдельных случаях и основной) стратегической системы двойного назначения, обеспечивающей передачу сообщений для своевременного оповещения в условиях чрезвычайных ситуаций, техногенных катастроф и аварий, террористических проявлений и мобилизационных мероприятий в особый период. Арктический сегмент ААС КВ радиосвязи должен стать основой сети и важнейшей составной частью единого телекоммуникационного комплекса страны, обеспечивающей передачу информации в чрезвычайных условиях. Один из вариантов реализации этого проекта разработан российским институтом мощного радиостроения (ОАО «РИМР») [20]. ОАО «РИМР» предлагает осуществить построение ААС КВ на базе автоматизированных адаптивных комплексов технических средств КВ радиосвязи «Пирс» собственной разработки. Следует отметить, что существуют и другие отечественные разработчики аппаратуры КВ радиосвязи ОАО «ОНИИП» («Иртыш»), ФГУП «ПНИЭИ», ОАО «Ангстрем», ФГУП «СОНИИР», ОАО НИИ «Нептун», ФГУП «Тамбоваппарат».

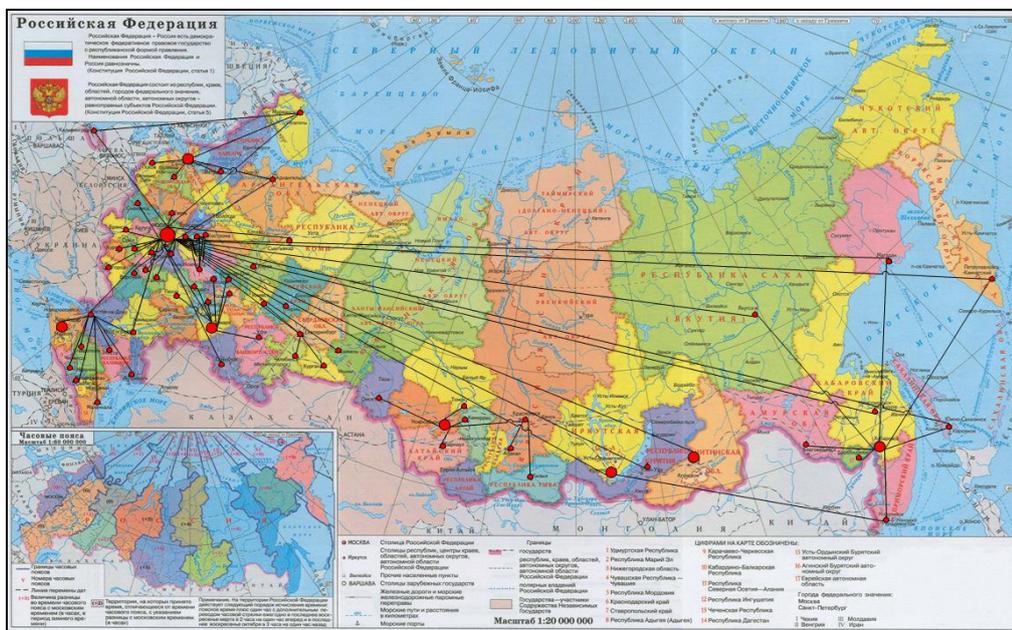


Рис. 3. Инфраструктура КВ радиосвязи РТРС

На рис. 4 представлен вариант обеспечения КВ радиосвязью Северного морского пути, предложенный ФГУП «российская телевизионная и радиовещательная сеть» (РТРС) (следует отметить, что подобный проект есть и у ОАО «РИМР»). РТРС – единый оператор государственных сетей мощного радиовещания КВ радиосвязи. Сеть КВ радиосвязи РТРС состоит из 134 передающих и приемных радиостанций, осуществляющих передачу по 81 направлению магистральных радиосвязей (рис. 3).



Рис. 4. Вариант обеспечения КВ радиосвязи для северного морского пути

В настоящее время разрабатываются различные проекты организации радиосвязи в арктической зоне. Например, в рамках НИР «Создание опытной зоны и предоставление на коммерческой основе услуг цифровой КВ связи» РТРС предложен вариант схемы организации радиосвязи в арктической зоне (рис. 5).

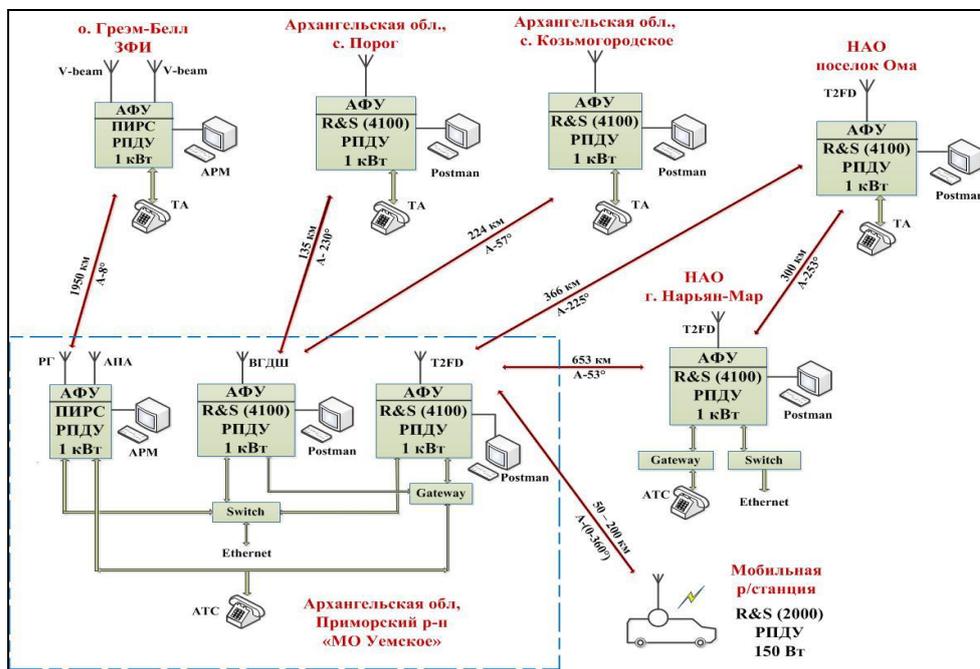


Рис. 5. Схема организации радиосвязи в арктической зоне (вариант)

Представители ОАО «РИМР» считают, что автоматизированная адаптивная система КВ радиосвязи в Арктике должна стать частью единой системы КВ радиосвязи государства в интересах гражданских и силовых структур. В качестве основы ААС КВ радиосвязи России необходимо использовать системно объединённые автоматизированные адаптивные сети КВ радиосвязи и центры автоматической ретрансляции (рис. 6).

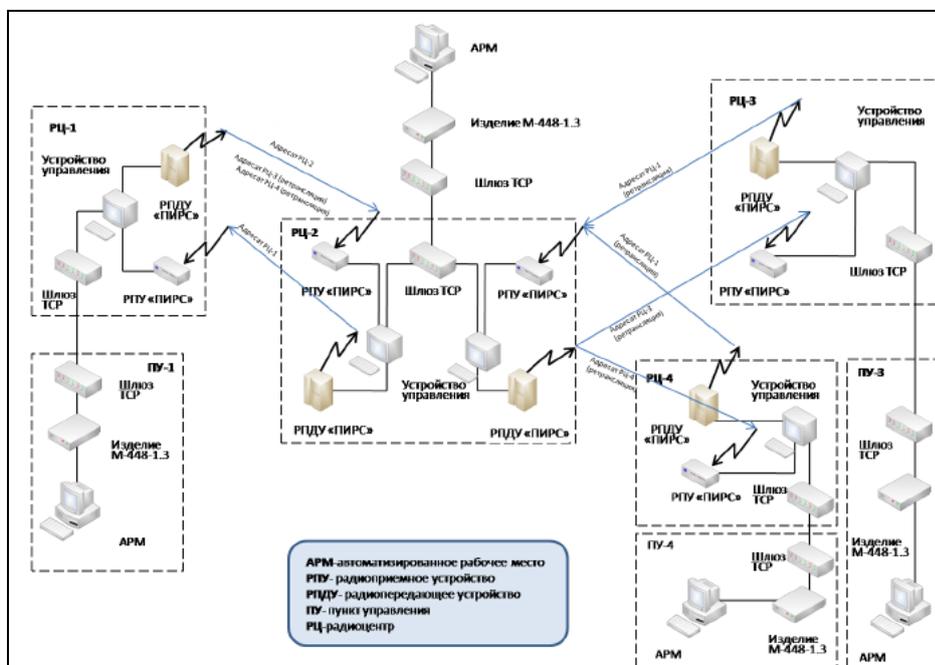


Рис. 6. Вариант структурной схемы обеспечения ретрансляции автоматизированной адаптивной сети КВ радиосвязи

В итоге, несмотря на достоинства систем спутниковой связи и навигации, профессиональное сообщество в полной мере осознаёт проблему уязвимости государства, базовые и критические технологии которого основаны исключительно на возможностях спутниковых систем [9]. Причина этому, что кроме стоимости, невысокая живучесть, недостаточная помехозащищенность и невозможность приема сигнала вне прямой радиовидимости спутников. Поэтому в рамках решения задачи по «созданию современной информационно - телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющей осуществлять оказание услуг связи населению и хозяйствующим субъектам на всей территории Арктической зоны Российской Федерации. КВ радиосвязь должна занять свое достойное место во взаимоувязанной сети связи страны, расширить ее возможности по охвату территорий и резервированию других видов связи.

Российская трансарктическая кабельная система

Российская трансарктическая кабельная система (РОТАКС) – проект подводной кабельной системы, которая соединит две части евразийского континента через Арктические моря. Протяженность кратчайшего маршрута – 14 901 км.

К преимуществам проекта следует отнести:

1. Маршрут Европа-Азия: 66% пользователей глобальной сети Интернет.
2. Беспрецедентная производительность: до 60 Тбит/сек.
3. Рекордно низкая расчетная задержка (рис.8) оптического сигнала от Лондона до Токио: 78 миллисекунд (что в два раза меньше самого быстрого существующего сегодня пути(156 ms)).
4. Монопольная возможность диверсификации рисков существующих евроазиатских маршрутов в глобальной инфраструктуре ПКС.
5. Существенный вклад в повышение надежности и безопасности глобальной инфокоммуникационной инфраструктуры.

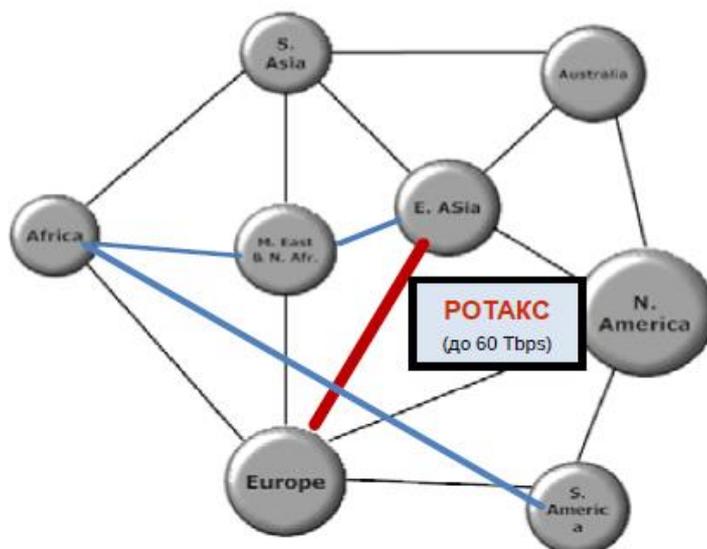


Рис. 7. РОТАКС – недостающий физический путь

Значимость проекта для РФ трудно переоценить. РОТАКС – недостающий физический путь (рис. 7), инфокоммуникационная среда для управления и активного освоения природных ресурсов Арктического региона, а также для развития транспортной и пограничной инфраструктуры регионов Крайнего Севера и Дальнего Востока РФ (4 федеральных округа и 12 субъектов федерации). Кроме того, РОТАКС - надежный способ предоставить широкополосный доступ в Интернет в удаленных регионах России.

В случае успешной реализации конкурентного канадского проекта Arctic Fibre [17] Россия теряет арктический транзитный информационный геостратегический ресурс.

На сегодняшний день для проекта РОТАКС реализован комплекс инженерно-геологических морских изысканий на Арктическом участке планируемой кабельной трассы. В состав экспедиции вошел Атомный ледокол «Советский Союз». Поскольку площадь ледового покрытия по трассе РОТАКС постоянно снижалась в течении последних 30 лет, в августе – сентябре 2012 года на всём протяжении кабельной трассы была так называемая «Открытая вода».

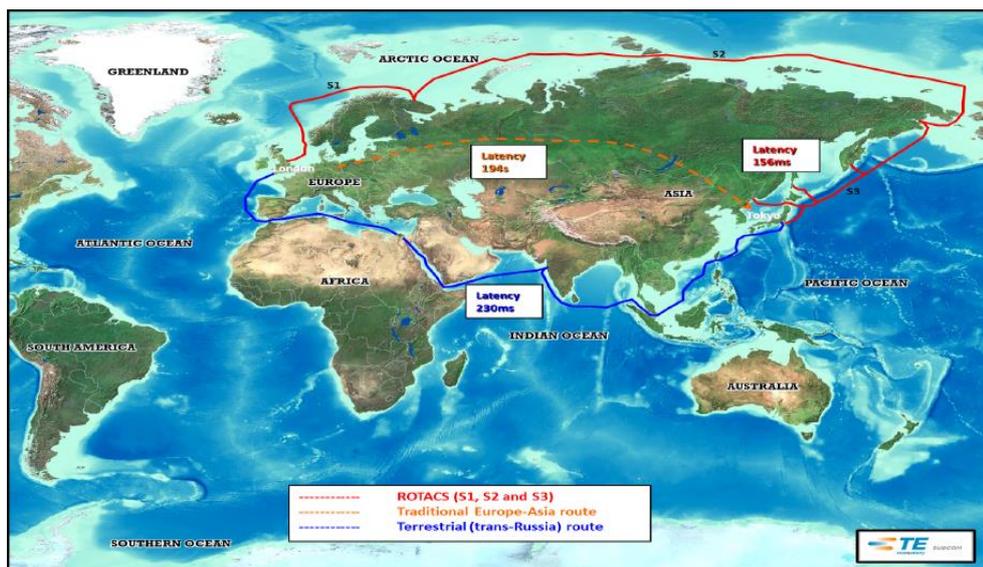


Рис. 8. РОТАКС в сравнении показателя round trip delay

Кроме того, проведены модельные испытания прокладки кабеля и переоборудования корабля. Технические условия переоборудования корабля отработаны в ледовой лаборатории MARC (Финляндия). Основным критерием выбора трассы являлось сокращение рисков при прокладке кабеля в арктических условиях. Поэтому прокладка должна осуществляться на глубинах, достаточных для защиты кабеля от айсбергов, в сейсмически спокойной зоне. Кроме того, кабельная трасса должна быть за пределами: абразивных донных отложений, трассы Северного морского пути, зон рыболовства, трубопроводов и подводных кабелей, разрабатываемых месторождений природных ископаемых на шельфе, захоронений боеприпасов и затонувших судов. Следует отметить, что, как и во многих масштабных проектах, план осуществления проекта РОТАКС расходится с действительностью. Так, ввод в эксплуатацию последних сегментов оптоволоконной сети изначально планировался на декабрь 2014 г., а начальных сегментов сети даже на декабрь 2013 г.

Помимо морских изысканий и модельных испытаний РОТАКС завершил проведение международного тендера на поставку кабельной системы и TE Subcom выиграл тендер на поставку «под ключ». Производитель относит свой продукт к самой передовой в отрасли технологии 100Gb/s. Основные характеристики кабельной системы РОТАКС:

- Рекордная пропускная способность на волоконную пару: до 150x100 Gb/s.
- Действующие прототипы продемонстрировали компенсацию дисперсии в пределах до 240K ps/nm.
- 10x10 и 1x100 Gb/s – клиентский интерфейс отличается многообразием применимых протоколов, включая OTN.
- Самые низкие показатели затухания сигнала < 0.17 dB/km D+ когерентное волокно.
- Поддержка сегмента протяженностью до 12 тыс. км.

Министерство транспорта и связи Финляндии выступило с инициативой продления инфраструктуры Евросоюза в Азию [21] - соединение северной и центральной части Европы с Азией (рис. 9).

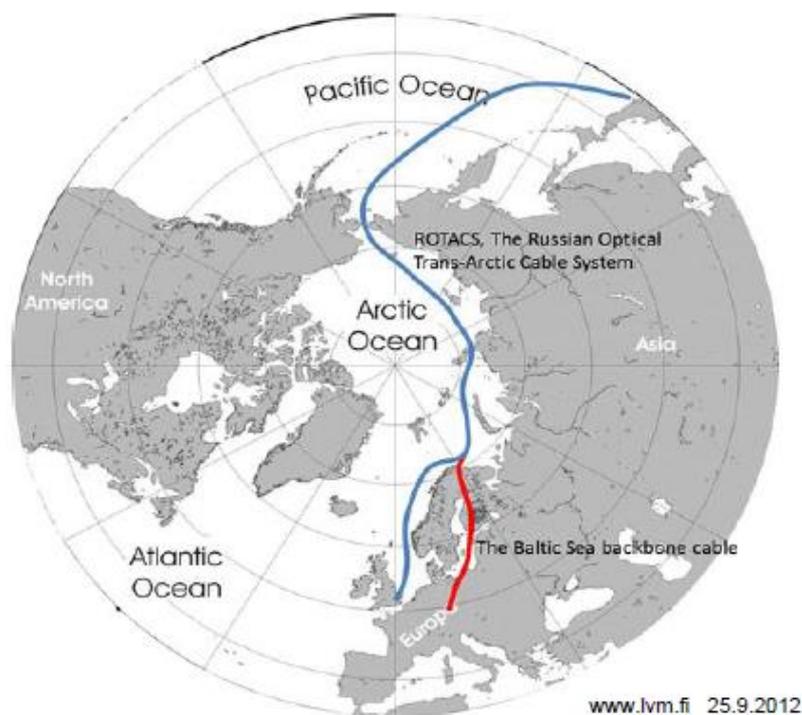


Рис. 9. Соединение северной и центральной части Европы с Азией

Также рассматривается вопрос о возможности строительства регионального сегмента на Дальнем востоке на первом этапе до 2015 года.

Существуют различные варианты дальнейшего развития системы. К ним относятся создание Национальной высокопроизводительной оптической кольцевой системы РФ на базе наземной инфраструктуры ОАО «АК Транснефть». Кроме того, рассматривается возможность сокращения общей протяженности кабельного маршрута Лондон – Токио (через Ямбург, Омск и Владивосток) до 13040 км (рис. 10).

Общий объем инвестиций, необходимый для пуска системы оценивается в 980 млн. долларов США. Основателем Поларнет инвестировано в проект более 70 млн. долларов США. Естественно, для реализации проекта необходима поддержка Министерства Связи РФ и последующее целевое федеральное и региональное финансирование. После получения финансовой поддержки Правительства РФ, планируется завершить переговоры с иностранными и Российскими потенциальными инвесторами и привлечь остаток необходимых средств для запуска проекта. Кроме того, ведутся переговоры с несколькими операторами связи с целью подписания Меморандума о намерениях. Планируется открыть переговоры с группой потенциальных пользователей с целью подписания предварительных Протоколов о намерениях относительно приобретения емкости в системе.

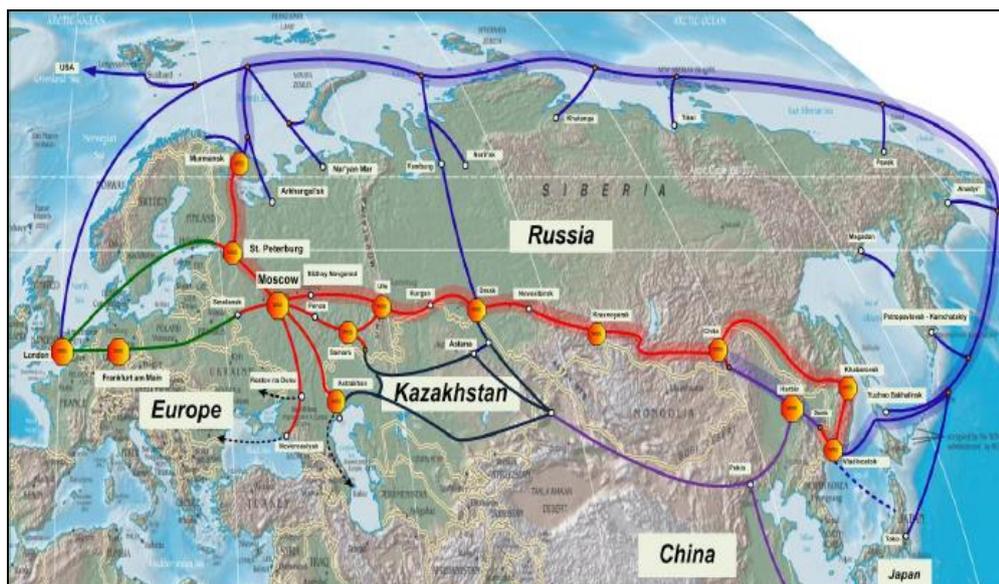


Рис. 10. Сокращение протяженности кабельного маршрута Лондон – Токио (через Ямбург, Омск и Владивосток)

Кроме проекта РОТАКС на сегодняшний день разрабатываются и другие менее масштабные, но полезные проекты. Например, компания ОАО «Ростелеком» объявила о строительстве подводной волоконно-оптической линии связи Сахалин-Магадан-Камчатка [18]. Протяженность подводной ВОЛС составит около 2 тыс. км, прокладка запланирована на 2015 год. ООО «Техкомпания Хуавэй» получила право заключения договора на поставку оборудования, вспомогательного оборудования и материалов, а также выполнения работ и оказания услуг.

Кроме того, в одном из крупнейших мировых исследовательских центров в области кораблестроения и проектирования Крыловском научном центре разработан концептуальный проект не имеющего аналогов большого многоцелевого кабельного судна ледового плавания для проведения кабелеукладочных и подводно-технических работ в северных морях [19]. Наличие подобного судна позволило бы не привлекать зарубежных подрядчиков к работам, связанным с прокладкой подводных ВОЛС.

Космические системы связи и навигации

Актуальность создания систем связи и навигации, обслуживающих территорию Арктики определяется необходимостью создания ресурса подвижной и фиксированной связи на всей территории России. Одним из важных аспектов является обеспечение информационной независимости РФ в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Основной проблемой на этом пути является отсутствие отечественной универсальной и высокопроизводительной системы мобильной связи, обеспечивающей предоставление сервисов связи на всей территории РФ в интересах различных групп потребителей.

Стратегическое развитие систем спутниковой связи отражено в следующих документах:

- указание Президента от 29.06.2011 г. №7066;
- поручение Аппарата Правительства РФ от 06 сентября 2013г. №1210-с;
- «План мероприятий по реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», утвержденным Председателем Правительства РФ.

На основе предварительного анализа совокупная потребность госструктур в услугах персональной спутниковой связи на территории Арктического региона оценивается как 125 тыс. потенциальных абонентов. Однако, учитывая ресурсы космического аппарата, значительный срок активного существования КА и тенденцию к увеличению числа потенциальных абонентов персональной спутниковой связи целесообразно разрабатывать систему абонентской емкостью 300 тыс. потребителей.

Проект создания космической системы связи и навигации на базе орбитальных группировок на высокоэллиптических (ВЭО) и геостационарной (ГСО) орбитах подразумевает следующий состав системы:

- подсистемы персональной спутниковой связи (ПСС) на базе орбитальных группировок КА на ГСО и ВЭО;
- подсистемы обеспечения управления воздушным движением (УВД) в арктическом регионе Земли на базе орбитальной группировки КА на ВЭО;
- подсистемы широкополосной спутниковой связи на базе орбитальной группировки КА на ВЭО;
- наземного комплекса управления, общего для орбитальных группировок на ГСО и ВЭО;
- комплекса орбитальных испытаний и контроля частотно-орбитального ресурса.

Данный состав системы позволит реализовать в рамках создания одной системы спутниковой связи задачи, поставленные при выполнении системного проекта «Садко-СП», системного проекта многофункциональной космической системы «Арктика-МС», а также одновременно реализовать задачи ОКР «Экспресс-РВ» (проект Федеральной космической программы на 2016-2025 годы).

Поскольку Арктический регион обслуживается орбитальной группировкой КА на ВЭО, построение системы производится на основе орбитальной группировки КА на ВЭО.

Система ПСС ориентирована на использование трех типов абонентских терминалов:

1. Носимый абонентский терминал (телефонная трубка): масса – 0,5 кг; внешние размеры – 150х50х20 мм.
2. Переносной абонентский терминал (ноутбук): масса – 1,25 кг; внешние размеры – 300х250х40.
3. Автомобильный абонентский терминал: масса – 5,0 кг. Внешние габариты антенного модуля: диаметр – 300 мм, высота – 120 мм.

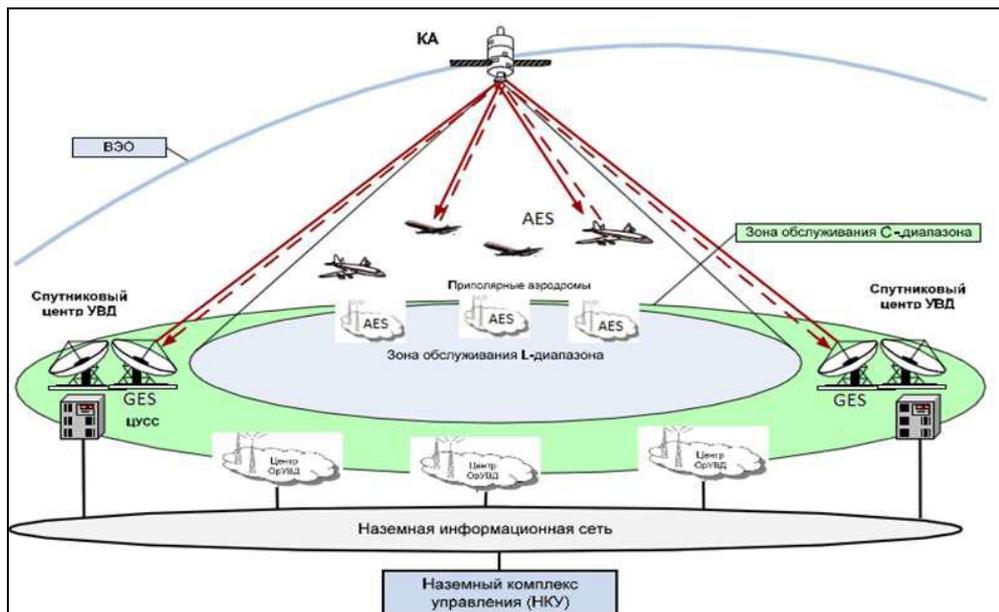


Рис. 11. Архитектура подсистемы УВД

Подсистема УВД (рис. 11) обеспечивает следующие сервисы:

- двусторонняя голосовая связь между воздушным судном и центром управления воздушным движением со скоростью до 9,6 кбит/с;
- передача данных (обмен технологической информацией) между воздушным судном и центром УВД со скоростью до 32 кбит/с;
- голосовая связь и передача данных между удаленными аэродромами и центром УВД с групповой скоростью до 256 кбит/с;
- широковещательная передача сообщений всем воздушным судам, находящимся в зоне обслуживания (канал экстренного оповещения) со скоростями до 4,8 кбит/с;
- прием низкоскоростных аварийных сигналов из любой точки зоны обслуживания со скоростью 1,2-2,4 кбит/с.

С введением в эксплуатацию такой системы станут возможными изменения маршрутов кросс-полярных перелетов (рис. 12).

Подсистемы широкополосной спутниковой связи. Архитектура космического комплекса системы ГЛОНАСС предполагает орбитальную группировку, состоящую из 24 штатных КА в трех плоскостях по 8 в каждой, 6 резервных КА по 2 в каждой плоскости. Используются и планируются следующие космические аппараты: «Глонасс-М» 2003 г., «Глонасс-К» 2011 г., «Глонасс-К» 2016 г.

Ракетно-космические комплексы космодромов Плесецк (ракета-носитель «Союз-2», разгонный блок «Фрегат», космический аппарат «Глонасс») и Байконур (ракета-носитель «Протон-М», разгонный блок «Бриз-М», три космических аппарата «Глонасс») призваны обеспечить запуски космических аппаратов, формирование и поддержание орбитальной группировки в заданном составе.

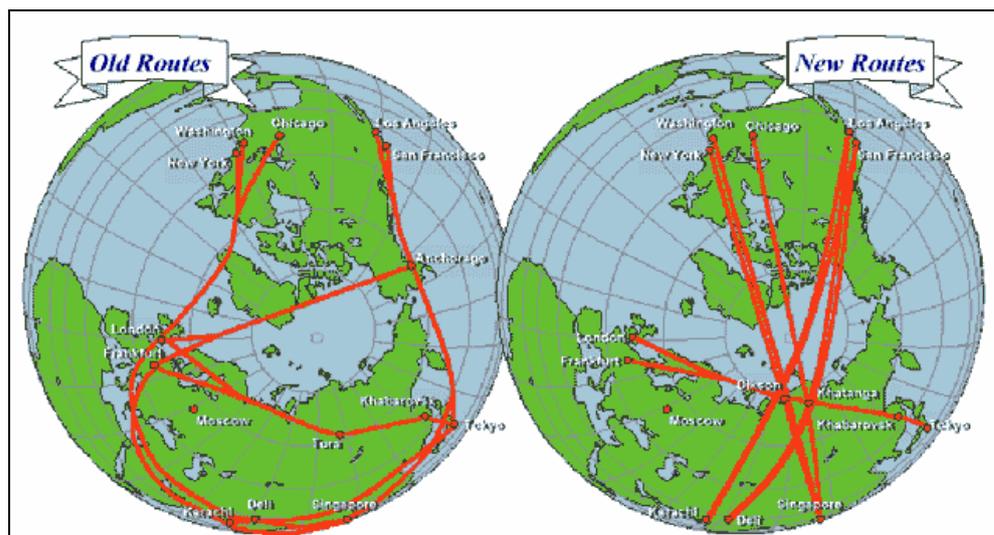


Рис. 12. Действующие и перспективные маршруты кросс-полярных перелетов

Наземный сегмент состоит из Наземного комплекса управления, Комплекса средств формирования ШВ КК и Глобальной сети БИС, осуществляющей дополнительные измерения для наземного комплекса управления.

К функциям Наземного комплекса управления следует отнести: контроль и управление КА в ОГ; расчет и закладка на борт информации; контроль качества навигационных сигналов; восстановление работоспособности КА; обеспечение привязки БШВ к шкале ЦС.

Комплекс средств формирования шкалы времени космического комплекса (ШВ КК) предназначен для формирования и хранения ШВ системы, синхронизацию фаз сигналов всех КА; прогнозирования расхождения ШВ системы относительно Госэталоны; прогнозирования расхождения ШВ Госэталоны относительно Всемирного времени.

К 2020 году планируется достичь следующих погрешностей: определения местоположения в реальном времени с использованием систем функциональных дополнений в оперативном режиме - 0,1 м (сегодня - 1 м), определения времени потребителя в системной шкале времени за счет космического сегмента - 1 нс (сегодня - 5 нс).

Работы в рамках ОКР "Гонец-М" выполняются [11] в соответствии с Федеральными космическими программами России (2001–2006 гг. и 2006–2015 гг.) с целью увеличения пропускной способности системы за счет расширения используемых полос частот, увеличения скоростей передачи информации в радиолинии "Земля – космос" до 9,6 Кбит/с и в радиолинии "космос – Земля" до 76,8 Кбит/с путем создания орбитальной группировкой КА "Гонец-М" (12 КА), модернизированной системы "Гонец-Д1М" и проведения опытной эксплуатации КА "Гонец-Д1". По состоянию на декабрь 2013 г. в составе ОГ функционируют 6 КА "Гонец-М", которые проходят летные испытания и один КА "Гонец-Д1". В 2014 г. планируется запуск еще 6 КА, которые изготавливаются серийно. Поддержание ОГ КА "Гонец-М" в штатном составе планируется осуществлять до развертывания ОГ КА "Гонец-М1" путем запуска еще 9 серийных КА.

Второй этап завершится с окончанием эксплуатации последнего КА «Гонец-М» в составе штатной ОГ. С 2009 г. развернуты работы по определению технического облика перспективного КА «Гонец-М1»(табл.) и с этого времени можно говорить о начале 3-го этапа в развитии проекта «Гонец» (планируется орбитальная группировка из 24 спутников, запуск первого). На сегодняшний день окончательных решений по построению системы не принято.

Многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1М» предназначена для:

- передачи в глобальном масштабе цифровой информации;
- определения координат подвижных пользователей и последующей передачи координатной информации;
- организации передачи коротких сообщений в глобальном масштабе;
- циркулярной передачи сообщений группе пользователей;
- телефонной связи в зоне радиовидимости КА.

Сравнительные характеристики спутников «Гонец-М» и «Гонец-М1»

Параметры	«Гонец М»	«Гонец М1»
Пропускная способность КА, Мбит/сутки	270	до 5000
Скорость передачи данных, кбит/с	9,6-64	64-1024
Количество каналов передачи, шт.	14	50
Срок активного существования, лет	5	10

Параметры орбитальной группировки МСПСС «Гонец-Д1М» выглядят следующим образом: 24 низкоорбитальных КА, расположенных в четырех орбитальных плоскостях по 6 спутников, равномерно распределенных в плоскости. Наклонение орбиты: 82,5 град; эксцентриситет: 0; высота: 1500 км; период: ~115 мин; средняя скорость перемещения: ~12,5 витка/сутки; зона обслуживания:- глобальная; территория РФ + страны СНГ.

На рис. 13 представлен предполагаемый график развертывания МСПСС «Гонец-Д1М».

На сегодняшний день существуют различные проекты по созданию спутниковых систем связи: «Арктика-МС», «Енисей», «Гонец-Д1М», однако следует отметить, что при их проектировании и развитии отсутствует единый системный подход.

Особый интерес для реализации связных систем, обслуживающих северные территории, представляют системы, реализованные на основе космического сегмента на орбитах типа «Тундра»[10]. При этом необходимо использовать технологию многолучевого формирования рабочей зоны, что требует решения ряда научно-технических задач. Например, создание эффективных многолучевых гибридных зеркальных антенн в S-диапазоне (по этой тематике в СССР был очень большой научно-технический задел); организация обработки информации на борту для обеспечения связи «абонент – абонент».

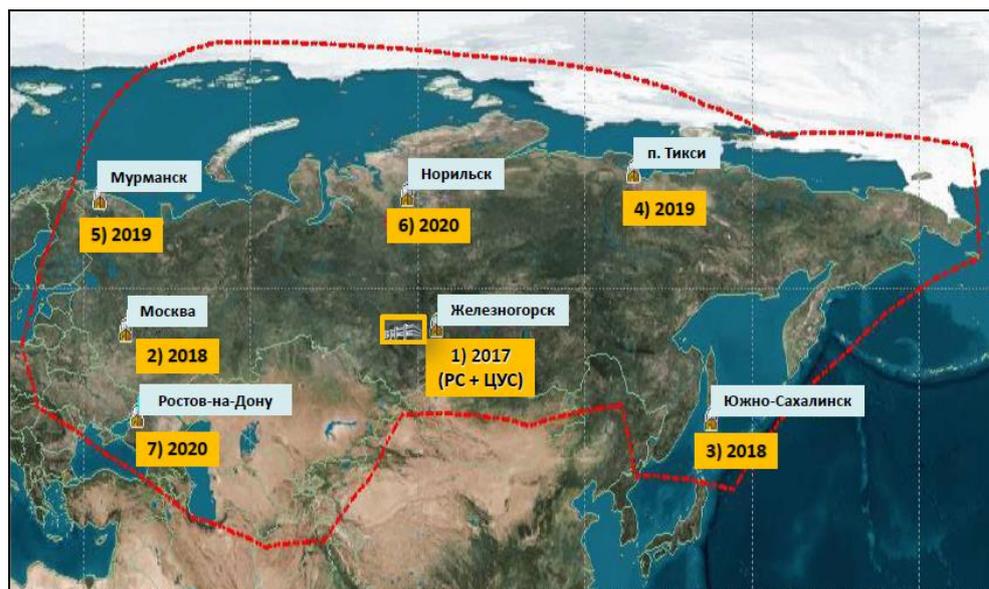


Рис. 13. Предполагаемый график развертывания МСПСС «Гонец-ДИМ»

Особо следует отметить, что спутники «Гонец-ДИМ», по сути, являются спутниками с обработкой информации на борту и могут рассматриваться как хороший задел для создания подобных систем с обработкой и коммутацией информации, но уже с использованием возможностей современной техники. Например, если в программном обеспечении формирования сигналов в системе «Гонец» исключить жесткую привязку к высоте размещения бортового ретранслятора, то этот задел может быть использован и на орбите «Тундра».

В целом, задачи обеспечения связи и вещания на широтах выше 70 градусов с.ш. могут быть решены только со спутников на ВЭО. Пользователями услуг представляются государственные структуры, региональные и муниципальные органы управления, корпоративные пользователи, другие государства арктического региона. ВЭО подходит для реализации системы подвижной связи и непосредственного звукового вещания. Пользователями услуг подвижной связи могут стать пассажиры различных видов транспорта, транспортные организации, в ряде случаев пользователи на стационарных объектах при отсутствии других видов связи.

Заключение

Таким образом, на сегодняшний день производятся попытки управления процессами формирования единого информационного пространства арктических территорий на государственном уровне (разработка различных стратегий, программ, выработка законов), но их явно недостаточно. Отсутствует утвержденный план действий, централизованное управление и контроль разрабатываемых проектов, реализация разработанных программ практически не поддерживается на уровне финансирования. В итоге, получается нечто среднее между вторым и третьим вариантом развития, представленным во введении, т.е. централизованное управление (программы, стратегии, законы) существуют, однако большинство ведомств и компаний при разработке

проектов обеспечения связью преследуют только свои интересы и действуют изолированно друг от друга. Очевидно, что такой вариант развития наиболее ресурсозатратен, приводит к дублированию создаваемых коммуникационных ресурсов, типовых проектов, дополнительным необоснованным затратам. На первый взгляд, кажется, что конкуренция между игроками рынка инфотелекоммуникационных услуг выгодна рядовому пользователю. Однако, компании, предоставляющие эти услуги по большому счету, не заинтересованы в организации связи в удаленных малонаселенных пунктах, которые составляют основу арктических территорий РФ. Это связано высоким уровнем затрат вследствие суровых климатических условий и территориальной удаленности, а прибыль в конечном итоге зависит от количества населения, роста которого в ближайшем будущем не ожидается.

Поскольку у каждой технологии связи есть свои преимущества и недостатки, зависящие от решаемых задач и условий эксплуатации, то единая инфраструктура информационного пространства должна включать виды телекоммуникации с разными технологиями, дополняющими друг друга.

3-4 сентября 2014 года в Москве проходила вторая конференция «Связь на Русском Севере». В резолюции конференции указывается, что с целью реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. принципы функционирования и организационная структура средств связи и освещения обстановки и стратегия их развития в Арктике должны строиться на основе объединения потенциалов и интересов государства, частных фондов и научного сообщества. Отмечается, что необходимо создать комплексную многоуровневую интеграцию технических средств и административного ресурса – министерств, федеральных агентств и служб (Минрегиона, Минкомсвязи, Росгидромета и т.д.), научных институтов и центров, высших учебных заведений на основе общих проектов. Государство должно формировать соответствующую политику и заказы на исследования. Развитие международной деятельности в области арктических исследований имеет принципиальное значение в виду состояния и перспектив данного направления в России. В то же время геополитические интересы в регионе вызывают потребность в формировании собственной, независимой от зарубежных стран системы связи и мониторинга обстановки в Арктике. Участники конференции рекомендуют создать постоянно действующую инициативную рабочую группу из числа представителей заинтересованных организаций. Следует подготовить экспертное заключение о востребованности и целесообразности проведения модернизации систем связи, подготовки специалистов по технической эксплуатации инфокоммуникационных систем для нужд Крайнего Севера.

Таким образом, создание и интеграция в единую инфотелекоммуникационную систему современных наземных, подводных и космических средств в условиях тесного взаимодействия независимых научных ассоциаций, квалифицированных инициативных групп специалистов и международного сотрудничества в области крупных арктических проектов, позволяя сформировать и поддерживать в актуальном состоянии единое информационное пространство в Арктической зоне.

Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. – Режим доступа: www.minregion.ru/upload/02_dtp/101001_str.doc
2. Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» (утв. пост. Правительства РФ от 21 апреля 2014 г., №366) Информационно-правовой портал «Гарант». – Режим доступа: http://base.garant.ru/70644266/#block_1000
3. Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2010 г. №2205-р «О Стратегии развития морской деятельности в РФ до 2030 года». Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_107955/?frame=1
4. Концепции формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов. Сайт Сибирского отделения РАН. – Режим доступа: http://www.nsc.ru/win/laws/russ_kon.htm
5. Сайт Паутина Мир Web: создание, использование, безопасность. – Режим доступа: <http://pautina34.ru/?p=192>
6. Олейник, А.Г. Проблемы и задачи формирования единого информационного пространства Арктической зоны Российской Федерации / А.Г. Олейник, А.М. Федоров // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Вып.2. -4/2011(7).– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. - С.19-28.
7. Ziegler, J.F. Terrestrial cosmic rays. / J.F. Ziegler // IBM Journal of Research and Development. - 1996. - Vol.40, Issue 1. - P.19-39.
8. Кузнецов, В.Д. Физика солнечно-земного взаимодействия и проблемы безопасности энергетической инфраструктуры страны / В.Д. Кузнецов, Н.А. Махутов // Вестник Российской академии наук. –2012. –Т.82, №2. - С.110–123.
9. Брыксенков, А.А. Государственная коротковолновая радиосвязь нуждается в реанимации. – Режим доступа: <http://digit.ru/opinion/20130624/402681728.html>
10. Акимов, А.А. Моделирование рабочей зоны спутниковой группировки, сформированной на орбите «Тундра» / А.А. Акимов, В.В. Полешук, Д.В. Шевчук // Спец. выпуск «Спутниковая связь и вещание – 2014». – Режим доступа: <http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/modelirovanie-rabochey-zony-sputnikovoy-gruppirovki-sformirovannoy-na-orbite-tundra-spacecraft-service-area-modeling-for-constellations-based-on-tundra>
11. Жаров, А.Н. Многофункциональная система персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М»: состояние и перспективы развития / А.Н. Жаров // Спец. выпуск «Спутниковая связь и вещание – 2014». – Режим доступа: <http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/mnogofunktsionalnaya-sistema-personalnoy-sputnikovoy-svyazi-gonets-d1m-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya.-multifunctional-system-for-personal-satellite-communication-gonets-d1m-current-state-and-prospects>

12. Шептура, В.Н. Развитие военной связи в Арктической зоне России для управления в едином информационном пространстве межведомственными группировками войск (сил) / В.Н. Шептура // Связь на Русском Севере: материалы докладов второй конференции, г. Москва, 3-4 сентября 2014 г. – Москва: Изд. дом «Connect», 2014. – С.19.
13. Брыксенков, А.А. Комплексный подход к развитию единого информационного пространства Арктического региона/ А.А. Брыксенков // Связь на Русском Севере: материалы докладов второй конференции, г. Москва, 3-4 сентября 2014 г. – Москва: Изд. дом «Connect», 2014. – С.7.
14. Шалагинов, А.А. Проекты многофункциональных спутниковых систем для Арктических регионов России / А.А. Шалагинов // Спец. выпуск «Спутниковая связь и вещание - 2014». – Режим доступа: <http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/proekty-mnogofunktsionalnyh-sputnikovyyh-sistem-dlya-arkticheskikh-regionov-rossii/projects-of-multifunctional-space-systems-for-arctic-regions>
15. Мухин, В.Г. Россия развернула боевые РЛС вблизи Аляски (03.10.2014 г.) /В.Г. Мухин // Независимая газета. – Режим доступа: http://www.ng.ru/armies/2014-10-03/1_rls.html
16. Новости NEWSru.com. Россия из-за угроз со стороны Арктики «нарастит» там группировку войск и создаст соединения «арктического типа» (24.03.2014 г.). – Режим доступа: <http://www.newsru.com/russia/21mar2014/arctika4irkov.html>
17. Сайт компании Arctic Fibre | Submarine Cable System. - Режим доступа: arcticfibre.com
18. Ардальянова, Е.В. «Ростелеком» приступает к реализации проекта строительства подводной ВОЛС Сахалин – Магадан - Камчатка /Е.В Ардальянова //«Дальневосточный капитал», июль 2014 г. – Режим доступа: http://dvkapital.ru/specialfeatures/dfo_25.07.2014_6307_rostelekom-pristupaet-k-realizatsii-proekta-stroitelstva-podvodnoj-vols-sakhalin-magadan-kamchatka.html
19. Сайт Крыловского государственного научного центра. Разработан концептуальный проект многоцелевого кабельного судна. - Режим доступа: http://krylov-center.ru/rus/news/?ELEMENT_ID=74
20. Сайт Российского института мощного радиостроения. - Режим доступа: <http://www.rimr.ru/>
21. Официальный сайт Министерства транспорта и связи Финляндии. Ministry of transport and communications. – Режим доступа: <http://www.lvm.fi/web/en/find/-/results/?query=Asia+Europe> (24.10.2014 г.)

Сведения об авторе

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

Igor O. Datyev – Ph.D. (Tech. Sci.), researcher

УДК 004.9

А.А. Павлов¹, И.О. Датъев^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ПРОТОКОЛЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Аннотация

Сегодня интенсивно развивается научное направление в области построения телекоммуникационных сетей с переменной топологией. Подобные сети получили название MANET (Mobile ad-hoc Networks). MANET - это беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, узлами которых являются мобильные устройства. В данной статье рассмотрены существующие и разрабатываемые протоколы маршрутизации в беспроводных сетях, а также представлены отличительные особенности различных типов подобных сетей.

Ключевые слова:

беспроводные сети, протокол маршрутизации, MANET, управление передачей данных.

A.A. Pavlov, I.O. Datyev

ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS NETWORKS

Abstract

Today intensively research scientific direction in the field of telecommunication networks with variable topology. Such networks are called MANET (Mobile Ad-hoc Networks). MANET - is a wireless decentralized network, self-organizing, which consist of mobile devices. This article focuses on existing and developed routing protocols in wireless networks, and discusses the main wireless networks types and its features.

Keywords:

wireless Networks, routing protocols, MANET, communication control.

Введение

Мобильные сети являются одним из наиболее перспективных направлений развития информационно-коммуникационных сетей. К существенным преимуществам таких сетей относятся:

1) Эффективное использование незадействованного телекоммуникационного и вычислительного ресурса множества мобильных устройств, находящихся в распоряжении современных пользователей.

2) Возможность организации информационно-коммуникационных сетей без создания наземной инфраструктуры базовых станций на территориях с «очаговым» характером, как заселения, так и ведения хозяйственной деятельности, что на сегодняшний день характерно практически для всей Арктической зоны Российской Федерации.

3) Быстрота организации (развертывания) информационно-коммуникационной сети за счет автоматического подключения к участникам и самонастраивания внутри сети.

Основной проблемой создания самоорганизующихся мобильных сетей является правильное построение маршрута передачи данных от источника до адресата. Беспроводные соединения имеют ограниченный радиус действия, а сами устройства могут перемещаться. Поэтому доступность узла в некоторый момент времени не может быть гарантирована, и построить точную топологию сети практически невозможно.

Области применения самоорганизующихся мобильных сетей:

1. Сенсорные (телеметрические) сети различного назначения.
2. Сети связи военного назначения тактического уровня.
3. Аварийные сети, развертываемые в условиях чрезвычайных ситуаций и природных бедствий при поисковых и спасательных операциях.
4. Домашние сети («умный дом»).
5. Сети предприятия.
6. Развлекательные сети (игры со многими игроками, домашние роботы, дроны).
7. Сети, создаваемые в удаленных районах, где отсутствует стационарная инфраструктура (сельская местность, пустыни, Арктика и Антарктика, тундра, тайга и т.д.).

Далее представлены основные отличительные особенности беспроводных сетей различных типов, а также широко используемые и находящиеся в стадии разработки алгоритмы маршрутизации.

Основные типы самоорганизующихся беспроводных сетей с переменной топологией

В большинстве случаев для обозначения самоорганизующихся радиосетей применяют термины «mesh», «ad-hoc», «mobile ad-hoc» и т.д., подразумевая равнозначность этих терминов. Однако беспроводные сети с переменной топологией следует разделить на несколько типов. Их отличает структура построения, предназначение и элементный состав.

MANET (Mobile Ad-hoc NETWORKS) сети [1] – радиосети со случайными мобильными абонентами, реализующие полностью децентрализованное управление при отсутствии базовых станций или опорных узлов. Топология *MANET* динамична и соединение узлов является случайным.

Беспроводные сети, построенные на базе мобильных устройств, обладают рядом особенностей:

1. Мобильность узлов ведет к дополнительному повышению динамичности топологии сети, поскольку, вследствие помех или включения/выключения узла, к возможности обрыва связи добавляется вероятность перемещения узлов.
2. Запас источников питания мобильных узлов может быть ограничен, в связи, с чем при проектировании аппаратных средств и протоколов необходимо учитывать энергопотребление (особенно для сенсорных сетей).

Самоорганизующиеся сети *MANET* обладают следующими преимуществами над беспроводными сетями традиционной архитектуры:

1. Возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика.

2. Устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети.
3. Возможность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки.

4. Простота и высокая скорость развертывания.

Среди основных задач, поставленных перед современными разработчиками MANET, следует выделить:

1. Проблема эффективности применяемых методов маршрутизации.
2. Проблема обеспечения помехоустойчивости.
3. Проблема обеспечения безопасности передаваемых данных.
4. Проблема общей пропускной способности сетей.

Mesh [2] – радиосети ячеистой структуры, состоящие из беспроводных стационарных маршрутизаторов, которые создают беспроводную магистраль и зону обслуживания мобильных и стационарных абонентов, имеющих доступ (в пределах зоны радиосвязности) к одному из маршрутизаторов. Топология – звезда, со случайным соединением опорных узлов.

Архитектура ячеистой сети [3] состоит из некоторого количества узлов (node), которые образуют основу (backbone) сети, и клиентских устройств. Узлы могут связываться каждый с каждым и самостоятельно создавать маршруты передачи данных. Узлы обнаруживают отключения соседних узлов и появление новых, и автоматически перестраивают маршруты. Технология ячеистых сетей не является специфической для беспроводных сетей, но в беспроводных сетях она приобретает новые свойства. При использовании беспроводных узлов топология сети может легко перестраиваться простым перемещением, удалением или добавлением узлов. Прокладка кабелей между узлами не нужна. Теоретически можно накрыть mesh-сетью любую необходимую территорию. Основной проблемой при этом является достижение необходимого количества узлов и возможность обеспечения их электропитанием. Беспроводные клиенты могут перемещаться в пределах зоны покрытия, узлы будут строить правильные маршруты и обеспечивать прозрачный роуминг. С точки зрения абонентского сервиса подобные сети уже сегодня обеспечивают полный спектр IP-приложений - Ethernet, VoIP, real time video.

Беспроводная архитектура mesh имеет много общего с алгоритмом работы маршрутизаторов в сети Интернет, где маршрутизаторы самостоятельно принимают решение о направлении движения пакетов, основываясь на динамических протоколах маршрутизации. В обоих случаях, определенный путь, которым пакеты пройдут через промежуточные узлы, прозрачен для клиентов.

Сети mesh являются самовосстанавливающимися: сеть будет работать, даже когда в сети имеется неисправный узел или потеряно подключение. В результате такой организации получается очень надежная сетевая инфраструктура.

В беспроводной сети mesh трафик динамически перенаправляется между узлами для выбора оптимального прохождения сигнала до пограничного маршрутизатора. Для этого используются специальные алгоритмы интеллектуальной маршрутизации. На направление трафика могут влиять факторы наименьшего количества скачков (hop) между узлами, их загруженность, приоритет трафика и т.п. То есть сеть mesh сама подстраивается под конкретные ситуации и оптимизирует пути прохождения сигнала.

Следует добавить, что в некоторых работах рассматривается стандарт IEEE 802.11s, который входит в состав стандарта IEEE 802.11 и позволяет организовать иерархические беспроводные ad-hoc сети с мобильными и статическими узлами (mesh-сети). Основные особенности стандарта IEEE 802.11s и протоколы маршрутизации анализируются в публикациях Вишневого В., Лаконцева Д., Сафонова А., Шпилева С., и работе «IEEE 802.11S: the wlan mesh standard» [19, 20, 22]. В работе «Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности» [21] проводится оценка производительности многоканальных беспроводных сетей mesh-стандарта IEEE 802.11s. В работе «Improving IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks for Reliable Routing in the Smart Grid Infrastructure» [23] авторы заняты усовершенствованием беспроводной mesh-сети стандарта 802.11s за счет модификации метрик, позволяющих оценить эффективность маршрута.

WSN (*Wireless Sensor Networks*) [4] – беспроводные сенсорные (телеметрические) сети, состоящие из малогабаритных сенсорных узлов с интегрированными функциями мониторинга определенных параметров окружающей среды, обработки и передачи данных по радиоканалам. Они могут, в зависимости от задачи, строиться как топологии mesh, ad-hoc так и MANET; автомобильные сети VANET (Vehicle Ad-hoc NETWORKS) – сети связи транспортных средств; и всевозможные гибриды вышеизложенного.

Беспроводные сенсорные сети, в частности, могут использоваться для предсказания отказа оборудования в аэрокосмических системах и автоматизации зданий. Из-за своей способности к самоорганизации, автономности и высокой отказоустойчивости такие сети активно применяются в системах безопасности и военных приложениях. Успешное применение беспроводных сенсорных сетей в медицине для мониторинга здоровья связано с разработкой биологических сенсоров совместимых с интегральными схемами сенсорных узлов. Но наибольшее распространение беспроводные сенсорные сети получили в области мониторинга окружающей среды и живых существ. Из-за отсутствия четкой стандартизации в сенсорных сетях, существует несколько различных платформ. Все платформы отвечают основным базовым требованиям к сенсорным сетям: малая потребляемая мощность, длительное время работы, маломощные приемопередатчики и наличие сенсоров. К основным платформам можно отнести MicaZ [30], TelosB [31], Intel Mote2 [32].

Основным стандартом передачи данных в сенсорных сетях является IEEE 802.15.4, который специально был разработан для беспроводных сетей с маломощными приемопередатчиками.

Никаких стандартов в области программного обеспечения в сенсорных сетях нет. Существует несколько сотен различных протоколов обработки и передачи данных, а также систем управления узлами.

Протоколы маршрутизации

В беспроводных сетях используются протоколы маршрутизации, которые по принципу работы можно разделить на [5]:

1. Проактивные или табличные (англ. proactive, table-driven). Периодически рассылают по сети служебные сообщения с информацией обо всех изменениях в ее топологии. Каждый узел строит таблицу маршрутизации,

откуда при необходимости передачи сообщения какому-либо узлу считывается маршрут к этому адресату.

2. Реактивные или работающие по запросу (англ. reactive, on-demand). Составляют маршруты до конкретных узлов лишь при возникновении необходимости в передаче им информации. Для этого узел-отправитель широковещательно рассылает по сети сообщение-запрос, которое должно дойти до узла-адресата.

3. Гибридные (англ. hybrid). Данные протоколы комбинируют механизмы проактивных и реактивных протоколов. Как правило, они разбивают сеть на множество подсетей, внутри которых функционирует проактивный протокол, а взаимодействие между ними осуществляется реактивными методами.

Проактивные протоколы. Один из наиболее применяемых проактивных протоколов *OLSR* (Optimized Link-State Routing) [6,7] основан на сборе и распространении служебной информации о состоянии сети. В результате обработки этой информации каждый узел может построить модель текущего состояния сети в виде формального описания графа, вершины которого ставятся в соответствие узлам сети, рёбра (или дуги) – линиям связи (линкам). Имея такой граф, любой узел может вычислить «длины» кратчайших путей до всех адресатов в сети и выбрать «оптимальный» маршрут, ведущий к любому конкретному узлу сети. Данный алгоритм хорошо реагирует на множество непредвиденных событий, к которым, прежде всего, следует отнести:

1. Спонтанные отказы/восстановления узлов и линий.
2. Повреждения и ремонт узлов сети.
3. Агрессивные воздействия «внешней среды», приводящие к блокировке отдельных элементов системы.
4. Подключения и отключения узлов и линий при оперативной передислокации абонентов.

Применение ресурса пропускной способности для служебного трафика протокола *OLSR* наиболее эффективно в сетях с высокой плотностью узлов. *OLSR* постоянно использует некоторый ресурс пропускной способности для служебного трафика.

В работе Чабанного А.А. [18] предлагается алгоритм построения оптимального маршрута от отправителя к получателю для беспроводных mesh-сетей на основе протокола маршрутизации *OLSR*. В предложенном алгоритме используется генетический алгоритм для нахождения оптимального маршрута.

Протокол *DSDV* [8, 9] основан на идее классического алгоритма маршрутизации Беллмана-Форда с некоторыми улучшениями. *DSDV* проактивный, дистанционно векторный алгоритм. Каждый узел поддерживает таблицу маршрутизации, в котором перечислены все доступные направления, количество маршрутизаторов («прыжков») до конечного пункта и номер версии. Узлы периодически передают свои таблицы маршрутизации ближайшим соседям. Узел также передает свою таблицу маршрутизации, если в ней произошло изменение с момента последнего отправленного обновления. Основная задача алгоритма в том, чтобы исключить возможность создания циклических маршрутов. Для минимизации объема трафика, протокол предусматривает обмен полными таблицами маршрутизации только при серьезных изменениях в топологии сети. В большинстве случаев отправляются более мелкие

дополнительные обновления. DSDV был одним из первых разработанных алгоритмов. Он вполне подходит для создания одноранговых сетей с малым количеством узлов. Было предложено много усовершенствованных вариантов этого алгоритма. Главным недостатком протоколов на базе DSDV является необходимость регулярной передачи служебной информации между узлами для обновления своих таблиц маршрутизации, что в условиях беспроводной сети ведет к увеличению расхода энергии батареи мобильного устройства и занимает часть полосы пропускания радиоканала, даже когда сеть не используется. Помимо этого, всякий раз, когда изменяется топология сети, создается новый порядковый номер для версии маршрутной информации. При очень динамичных сетях, возможно переполнение данного параметра, т.е. DSDV не подходит для сетей с быстро изменяющейся топологией.

Реактивные протоколы. Одним из первых протоколов реактивной маршрутизации для самоорганизующихся сетей является протокол *DSR*. *DSR* накапливает информацию о маршруте не в таблицах маршрутизации узлов, а непосредственно в пакете запроса. Основные механизмы *DSR* включают определение маршрута и его обслуживание. Эти два механизма работают совместно, чтобы определять и/или поддерживать маршруты в любую точку сети. При первоначальном определении маршрута пакеты отправляются по всем возможным направлениям и в заголовок добавляется информация о пройденном узле. В итоге по достижению цели, заголовок пакета содержит полностью сформированный маршрут между заданными узлами. В случае возникновения петель, т.е. повторного приема первого пакета, узел уничтожает данный пакет. Одним из основных недостатков данного протокола является неоправданное увеличение размера пакета при длинных маршрутах или больших адресах, таких как IPv6. На базе *DSR*, построено много протоколов, которые улучшают отдельные характеристики базовой версии, в том числе *DSRFLOW*. В данном протоколе для определения исходных маршрутов необходимо запоминать адреса каждого устройства между источником и узлом назначения во время первоначального построения маршрута. Накопленная информация о пути кэшируется промежуточными узлами, и в дальнейшем используется для маршрутизации пакетов. Для минимизации размера пакета, вместо полного маршрута в заголовок повторных пакетов помещается метка маршрута, которая используется для выбора кэшированного маршрута.

Другим вариантом классического дистанционно векторного протокола является *AODV* (англ. Ad-hoc On-Demand Distance Vector) [10, 11], основанный на *DSDV* и *DSR*. *AODV* использует другой механизм для актуализации маршрутной информации. Протокол строит таблицы маршрутизации на каждом узле сети для минимизации времени передачи информации между узлами и находит пути маршрутизации независимо от использования маршрутов. Первым шагом является построение таблиц маршрутизации на каждом узле. В таблице содержится длина кратчайшего пути к каждому узлу в сети через каждый соседний узел. На каждом следующем шаге каждый узел обменивается с соседними узлами информацией о каждом известном ему кратчайшем пути к каждому узлу сети. После некоторого количества шагов, зависящего от количества узлов в сети, таблицы маршрутизации на узлах перестают изменяться, после чего начинается передача данных по кратчайшему найденному пути. Протокол *AODV*, как и протокол *DSR*, создает маршруты по

необходимости. Тем не менее, AODV принимает традиционные таблицы маршрутизации. Однако используется одна запись на узел назначения, в отличие от DSR, в котором поддерживается несколько записей маршрута для каждого узла назначения. Как и DSDV, AODV предоставляет информацию о нарушении или изменении в сети и предоставляет альтернативные маршруты, но в отличие от DSDV, не требует глобальных периодических объявлений маршрутизации. Помимо уменьшения количества трансляций в результате разрыва линии связи, AODV также имеет и другие существенные особенности. Всякий раз, когда маршрут от источника к получателю доступен, дополнительные поля заголовка к пакетам не добавляются. Процесс обнаружения маршрута начинается, когда маршруты не используются и/или истекло время жизни. Еще одна отличительная черта AODV заключается в способности обеспечивать однонаправленную, групповую и широкополосную передачу данных.

В работе [27] представлено расширение протокола AODV с целью обнаружения и использования множественной связи в беспроводных mesh-сетях, т.е. связи по нескольким маршрутам одновременно. В результате экспериментов было установлено, что Multi-Link AODV (AODV-ML) обеспечивает повышение эффективности более чем на 100% по сравнению со стандартным multi-radio AODV по таким показателям как доставка пакетов, задержки и энергопотребление устройств.

В настоящее время разрабатывается аппаратная платформа для организации MANET сетей «MCP-Сеть» [12], использующая протоколы AODV и DSR.

Многофункциональная система радиосвязи MCP-Сеть представляет собой мобильную одноуровневую широкополосную локальную радиосеть типа MANET. Данная сеть реализует полностью децентрализованный тип управления мобильными абонентами (отсутствие какой-либо фиксированной инфраструктуры для передачи служебной информации).

Протоколы сетевого уровня: IPv6 (RFC 3513) (рис. 1), маршрутизация DSR (RFC 4728), AODV (RFC 3561). Метод множественного доступа канального уровня: CSMA/CA, ALOHA. Стандарт физического уровня: IEEE 802.15.4-2006/проприетарный, 2,4 ГГц ISM нелицензируемый диапазон частот, модуляция GFSK/FSK.

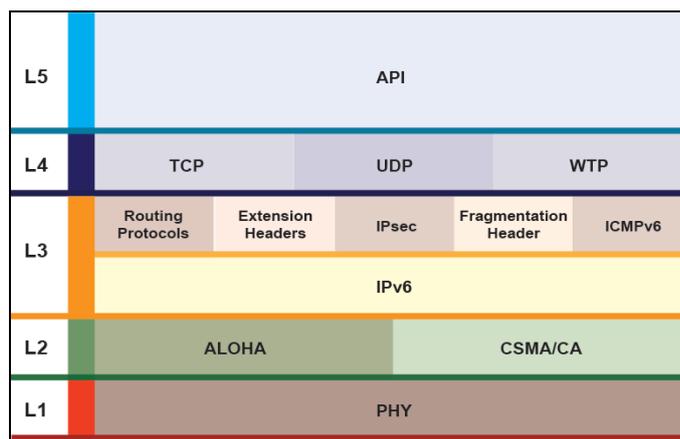


Рис. 1. Стек протоколов в технологии «MCP-Сеть»

Гибридные протоколы. Гибридный протокол маршрутизации *HWMP* (Hybrid Wireless Mesh Protocol) [13, 14] объединяет в себе два режима построения путей: реактивный и проактивный, которые могут быть использованы как отдельно, так и одновременно в одной сети. При этом используются широковещательные пакеты. Протокол маршрутизации *HWMP* обязателен для всех устройств стандарта IEEE 802.11s, как протокол по умолчанию.

В крупных сетях это позволяет сократить размеры таблиц маршрутизации, которые ведут узлы сети, т.к. им необходимо знать точные маршруты лишь для узлов подсети, к которой они принадлежат. Также сокращается и объем рассылаемой по сети служебной информации, т.к. основная ее часть распространяется лишь в пределах подсетей. Недостатком гибридных протоколов являются относительная сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры.

В статье «High throughput path selection for IEEE 802.11s based Wireless Mesh Networks» [28] авторы предлагают улучшить работу беспроводных mesh-сетей за счет применения другой метрики построения в протоколе маршрутизации Hybrid Wireless Mesh Protocol (*HWMP*). Вместо Airtime link metric (*ALM*) предлагается использовать свою собственную метрику Expected Forwarding Delay (*EFD*), которая позволяет повысить пропускную способность сети.

В «*HRP: A Hybrid Routing Protocol for Wireless Mesh Network*» [29] предлагается гибридный протокол маршрутизации, который сочетает в себе преимущества реактивных и проактивных протоколов маршрутизации. В качестве основы разрабатываемого протокола используют уже существующие протоколы. Для проактивной маршрутизации предлагается использовать процедуру поиска маршрута в области действия mesh-маршрутизатора протокола Destination Sequenced Distance Vector (*DSDV*). В качестве реактивного протокола используется Ad-hoc On-Demand Distance Vector (*AODV*), в котором имеется простая реализация механизма вычисления полного маршрута и предоставления его запрашивающему узлу.

Протоколы геомаршрутизации. В отдельную группу протоколов маршрутизации *MANET* можно выделить протоколы, использующие данные о местоположении абонентов сети. Следует отметить, что в соответствии с приказом №92 Минкомсвязи России от 03.05.2011 г. оборудование беспроводной передачи данных подлежит оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS [15]. К основным преимуществам протоколов геомаршрутизации можно отнести отсутствие необходимости в хранении маршрутной информации на транзитных узлах и возможность оптимизации маршрутов, исходя из имеющейся информации о местоположении узлов [16].

Протоколы маршрутизации *MANET* должны, по возможности, минимизировать время построения маршрута и время задержки доставки пакетов, максимизировать коэффициент доставки пакетов, рассылать как можно меньший объем служебной информации, и справляться с увеличением нагрузки при добавлении узлов.

Для обеспечения этих требований протоколы геомаршрутизации используют различные стратегии поиска маршрутов.

Протокол геомаршрутизации *GAF* (Geographic adaptive fidelity) [17] формирует виртуальную сетку покрытой области. Каждый узел ассоциирует себя с ближайшим пунктом на виртуальной сетке. Узлы, связанные с тем же самым пунктом на сетке, считаются эквивалентными с точки зрения стоимости маршрутизации. Такой подход может существенно увеличить время жизни сети при увеличении числа узлов. Узлы могут менять свое состояние от спящего к активному для балансировки нагрузки. Определены три состояния: "состояние обнаружения" для определения соседей в сетке, "активное состояние" предполагает участие в маршрутизации, а также "спящий режим". Продолжительность спящего режима зависит от приложения. Каждый узел в сетке оценивает свое время выхода из сетки и посылает его своим соседям. Спящие соседние узлы корректируют свое время сна для того, чтобы сохранить актуальность маршрутной информации. Прежде, чем наступит время выхода узла из активного режима, один из соседних спящих узлов просыпается и становится активным. *GAF* всегда сохраняет сеть связанной, держа один из узлов в активном состоянии для каждой области на виртуальной сетке. Результаты моделирования показывают, что *GAF* работает по крайней мере так же как другие распространенные Ad-hoc протоколы маршрутизации с точки зрения задержки и потери пакетов при одновременном увеличении срока службы сетей за счет экономии энергии.

Как и другие геопротоколы, *GPSR* использует информацию о расположении узла для определения маршрута при пересылке пакетов [24]. Пересылка осуществляется на основе жадной стратегии. Процесс ретрансляции пакетов промежуточными узлами продолжается до достижения пункта назначения. В некоторых случаях такая стратегия может приводить к ошибкам. Для исключения подобных ошибок может применяться "правило правой руки". Текущий узел, при отсутствии соседа, более близкого к узлу-приемнику, передает пакеты первому соседу, двигаясь против часовой стрелки. С увеличением подвижности узлов сети интервал рассылки служебных пакетов с геоданными, позволяющими держать таблицы маршрутизации в актуальном состоянии, должен быть уменьшен; однако, это приводит к большим накладным расходам. Чтобы уменьшить накладные расходы, информация о местоположении узла отправителя передается с пакетами данных.

Один из наиболее используемых протоколов географической маршрутизации - *The Location-Aided Routing (LAR)* [25, 26] основан на использовании маршрута узла-источника. Протокол использует информацию о местоположении для ограничения области (зоны запроса), где производится поиск маршрута. Как следствие, количество сообщений о запросе искомого маршрута сокращается. *LAR* обеспечивает две схемы для определения зоны запроса.

Схема 1. Источник оценивает искомую область, в которой ожидается установление соединения за определенное время. Зоной запроса является наименьшая прямоугольная область, которая включает узел-приемник и узел-источник. Во время рассылки служебных пакетов с запросом маршрута, сообщения с ответами отправляют только узлы, находящиеся в зоне запроса.

Схема 2. Источник вычисляет расстояние до пункта назначения. Это расстояние, наряду с местоположением получателя, включается в сообщение

запроса маршрута и рассылается соседям. Когда узел получает запрос, он вычисляет свое расстояние до получателя. Узел передает сообщение запроса маршрута дальше только в том случае, если его расстояние до узла назначения меньше или равно расстоянию, включенному в сообщение запроса. Прежде, чем узел передает запрос, он обновляет данные о расстоянии в сообщении запроса маршрута, записывая в него собственные данные.

Предполагается, что все узлы оснащены приемниками системы мобильного позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) и могут определить свое географическое положение. Между мобильными объектами в сети происходит постоянный обмен информацией о местоположении друг друга.

Касательно существующих разработок и исследований в этой области, можно сказать следующее – наибольшее практическое применение нашли mesh-сети, в то время как класс MANET пока что находится на стадии доработки. Тема достаточно прогрессивно развивается за рубежом, о чем свидетельствует статистика в отчетах о поиске, и недостаточно раскрыта в нашей стране. Таким образом, на сегодняшний день эффективность организации MANET с высокой степенью мобильности узлов и относительно большим количеством участников низка относительно скорости доставки и коэффициента доставки пакетов данных.

Заключение

Таким образом, на сегодняшний день существует множество проблем в области создания беспроводных самоорганизующихся сетей с переменной топологией. Одной из главных является проблема маршрутизации.

Каждый тип протоколов маршрутизации потенциально имеет свои преимущества и недостатки при различных условиях (плотности узлов и скорости перемещения) использования в рамках мобильных Ad-hoc сетей. Например, проактивные протоколы обладают явным преимуществом перед реактивными по времени построения маршрута. У проактивных протоколов этот процесс, происходит заранее, и требуется лишь считать маршрут из таблицы, тогда как реактивным протоколам необходимо разослать широковещательный запрос и дождаться подтверждения от адресата. Однако проактивным протоколам необходимо постоянно осуществлять широковещательные рассылки, на что может расходоваться значительная доля пропускной способности сети, особенно в сетях с большим количеством и высокой мобильностью узлов. К недостаткам гибридных протоколов следует отнести относительную сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры.

В настоящее время опубликовано немного русскоязычных работ о маршрутизации в беспроводных сетях. В то же время, существует множество работ зарубежных исследователей, посвященных данной теме. Однако следует отметить, что существующие зарубежные технологии передачи данных, такие как Wi-Fi и ZigBee, уступают разработанной отечественной системе радиосвязи МСР-Сеть, созданной специально для сетей типа MANET.

Таким образом, разработка собственных и совершенствование существующих алгоритмов маршрутизации с целью повышения эффективности передачи данных, является актуальной задачей.

Литература

1. MANET /Материал из Википедии - свободной энциклопедии. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MANET>
2. Ячеистая топология /Материал из Википедии - свободной энциклопедии. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Ячеистая топология](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ячеистая_топология)
3. Беспроводные компьютерные сети Wi-Fi. – Режим доступа: <http://www.vernex.ru/main/20060416>
4. Определение сенсорных сетей.– Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/95011/>
5. Казаков, М.Ф. Построение самоорганизующейся сети мобильных устройств / М.Ф. Казаков // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края . - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014. – С.13-17.
6. Стандарт протокола OLSR. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
7. OLSR / Материал из Википедии - свободной энциклопедии. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OLSR>
8. Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV). Материал из Википедии — свободной энциклопедии. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Destination-Sequenced_Distance_Vector_routing
9. Perkins, С.Е. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) for Mobile Computers /С.Е. Perkins, Р. Bhagwat //Proc.ACM Conf. Communications Architectures and Protocol, London, UK, August 1994.- P.234-244.
10. AODV Description. – Режим доступа: <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV>
11. Gupta, А.К. Performance analysis of AODV, DSR & TORA Routing Protocols / А.К. Gupta, Н. Sadawarti, А.К. Verma // IACSIT International Journal of Engineering and Technology, vol.2, April 2010.
12. Многофункциональная мобильная самоорганизующаяся сеть типа MANET 2,4 ГГц МСР-Сеть. – Режим доступа: <http://uwbs.ru/products/manet/>
13. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s: Протоколы маршрутизации / В.Вишневский и др. // Первая Миля, январь, 2009.
14. Singh1, М. Non-root-based Hybrid Wireless Mesh Protocol for Wireless Mesh Networks / М. Singh1, Song-Gon Lee, HoonJae Lee // International Journal of Smart Home Vol.7, No.2, March, 2013. - P.71-83
15. Об определении видов технических средств и систем, подлежащих оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS. – Режим доступа: http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id_4=618
16. Boukerche, А. Algorithms and protocols for wireless, mobile ad hoc networks / А. Boukerche // New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. - 495 p.
17. Xu, Y. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing / Y. Xu, J.S. Heidemann, D. Estrin // In Proceedings of ACM MobiCom, 2001. - P.70-84.
18. Чабанный, А.А. Исследование протоколов и улучшение систем маршрутизации в Wireless Mesh Networks / А.А. Чабанный // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17-20 квітня 2012 р. - Донецьк, ДонНТУ, 2012.

19. Маршрутизация в широкополосных беспроводных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11s / Вишневецкий В. и др. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. – С.64-69.
20. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s – технологии и реализация / Вишневецкий В. и др. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. – С.98-105.
21. Ляхов, А.И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности / А.И. Ляхов, И.А. Пустогаров, С.А. Шпилев // Информационные процессы. – 2008. – Т.8, № 3. – С.173–192.
22. Hiertz, Guido R. IEEE 802.11S: the wlan mesh standard / Guido R. Hiertz, Dee Denteneer, Sebastian Max. // IEEE Wireless Communications. – February, 2010. – P.104-111.
23. Improving IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks for Reliable Routing in the Smart Grid Infrastructure / Ji-Sun Jung, Keun-Woo Lim, Jae-Beom Kim, Young-Bae Ko. // Science and Technology. – 2010.
24. Karp, B. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks / B. Karp, H. T. Kung // In Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00). - ACM Press, New York, 2000. - P.243-254.
25. Ko, Y. Aided Routing (LAR) in mobile ad-hoc networks / Y. Ko, N. Vaidya // In Proceedings of the ACM MOBICOM. - 1998. - P.66-75.
26. Ko, Y. Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad-hoc networks / Y.Ko, N. Vaidya // Wireless Networks. - 2000. - Vol.6, №4. - P.307-321.
27. Pirzada, A.A. Multi-Linked AODV Routing Protocol for Wireless Mesh Networks /A.A. Pirzada, R. Wishart, M. Portmann //Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE. -P.4925-4930.
28. Md. Shariful Islam High throughput path selection for IEEE 802.11s based Wireless Mesh Networks / Md. Shariful Islam, Muhammad Mahbub, M. Abdul Hamid // Computer communication networks: network protocols. – Kprea. – 2010.
29. Chahidi, B. Hybrid Routing Protocol for Wireless Mesh Network / Badr Chahidi, Abdallah Ezzati // International Journal of Computer Science Issues. - Vol.9, Issue 2, No 1, March, 2012. - P.490-494.
30. MICAz - Capsil Wiki. – Режим доступа: <http://capsil.org/capsilwiki/index.php/MICAZ>
31. Telosb mote platform. – Режим доступа: http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN/telosb_datasheet.pdf
32. IntelMote2 – TinyOS Wiki. – Режим доступа: <http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Imote2>

Сведения об авторах

Павлов Алексей Андреевич – аспирант, стажер-исследователь,
e-mail: nuklius1@rambler.ru
Aleksey A. Pavlov - graduate student, research assistant

Датьев Игорь Олегович – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: datyev@iimm.ru
Igor O. Datyev - Ph.D. (Tech. Sci.), researcher

УДК 004.7, 004.4

И.О. Датьев

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

МОДЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЕТЕВЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ*

Аннотация

В статье представлен обзор моделей перемещения сетевых узлов, которые используются для тестирования протоколов маршрутизации мобильных самоорганизующихся сетей. Кроме того, приведены некоторые из транспортных моделей, которые также предлагается использовать для проверки эффективности протоколов. В частности, разработана имитационная модель транспортной подсистемы небольшого города, предназначенная для тестирования разрабатываемых протоколов маршрутизации.

Ключевые слова:

моделирование перемещений, тестирование протоколов маршрутизации.

I.O. Datyev

SPATIAL OBJECTS MOVEMENTS MODELS FOR MOBILE AD HOC NETWORKS ROUTING PROTOCOLS TESTING

Abstract

The article presents an overview of the mobile nodes movement models that are used to test the Mobile Ad-hoc networks routing protocols. In addition, some of the transport models have also been proposed to verify the effectiveness of the protocols. In particular, the developed simulation model of the small town transport subsystem, designed to test the developed routing protocols.

Keywords:

node movement model, routing protocols testing.

Введение

Мобильные самоорганизующиеся сети (Mobile Ad-hoc networks - MANET) являются одним из наиболее перспективных направлений развития информационно-коммуникационных сетей. Главными преимуществами таких сетей являются [1]:

- возможность организации информационно-коммуникационных сетей без создания наземной инфраструктуры базовых станций на территориях с «очаговым» характером, как заселения, так и ведения хозяйственной деятельности, что на сегодняшний день характерно практически для всей Арктической зоны и многих других районов Российской Федерации;
- возможность использования незадействованного телекоммуникационного и вычислительного ресурса мобильных устройств, находящихся в распоряжении современных пользователей;

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

- быстрота организации (развертывания) информационно-коммуникационной сети.

Возможность и быстрота организации информационно-коммуникационных сетей без использования базовых станций делают сети MANET стратегически важными для отдельных малозаселенных арктических районов РФ при создании центров управления региональным развитием и разработке интеллектуальных систем информационно-аналитической поддержки развития Арктических территорий РФ, поскольку решение подобных задач невозможно без присутствия самих информационно-коммуникационных сетей.

Основной проблемой создания самоорганизующихся мобильных сетей является правильное построение маршрута передачи данных от источника до адресата. Беспроводные соединения имеют ограниченный радиус действия, а сами устройства могут перемещаться в зависимости от нужд владельца. Поэтому доступность узла в некоторый момент времени не может быть гарантирована и построить точную топологию сети практически невозможно. Вследствие чего не представляется возможным использование протоколов так называемого проактивного типа, осуществляющих поиск маршрута передачи данных по заранее сформированным таблицам. Существующих же реактивных протоколов маршрутизации явно недостаточно для организации динамических самоорганизующихся сетей с высокой степенью мобильностью узлов и большим количеством участников, поскольку увеличение размера сети и подвижности узлов приводит к резкому увеличению объема служебного трафика, времени формирования маршрутов передачи информации и вычислительной сложности алгоритмов маршрутизации. Гибридные протоколы используют механизмы проактивных и реактивных протоколов. Как правило, сеть разбивается на множество подсетей, внутри которых функционирует проактивный протокол, а взаимодействие между ними осуществляется реактивными методами. В крупных сетях это позволяет сократить размеры таблиц маршрутизации, которые ведут узлы сети, т.к. им необходимо знать точные маршруты лишь для узлов подсети, к которой они принадлежат. Также сокращается и объем рассылаемой по сети служебной информации, т.к. основная ее часть распространяется лишь в пределах подсетей. Недостатком гибридных протоколов являются относительная сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры. Таким образом, на сегодняшний день эффективность организации MANET с высокой степенью мобильности узлов и относительно большим количеством участников низка относительно скорости доставки и коэффициента доставки пакетов данных.

На данный момент существуют различные протоколы маршрутизации в динамических сетях, например, AODV, DSR, OLSR, DDR, LANMAR, OSPFv2, FSR, ZRP. Один из распространенных принципов функционирования этих протоколов заключается в том, что каждый из узлов осуществляет постоянный мониторинг сети с целью выявления маршрутов до других участников сети, рассылая с определенной периодичностью широковещательные запросы HEARTBEAT. При таком подходе значительно увеличивается количество служебного трафика, что может привести к постоянным перегрузкам сети и не позволит передавать данные между пользователями. В настоящее время коллективом ИИММ КНЦ РАН разрабатывается алгоритм маршрутизации для

MANET. Суть предлагаемого алгоритма маршрутизации в снижении нагрузки на сеть и повышении количества доставленной информации за счет отправки данных только теми маршрутами, вероятность доставки на которых наиболее велика.

Тестирование созданных протоколов с целью получения оценок эффективности в различных условиях (количества узлов, плотности узлов и характера их перемещений) обычно [12] проводится с помощью имитационного моделирования. Одну из ключевых ролей при создании имитационных моделей самоорганизующихся сетей играет используемая модель перемещения мобильных узлов. Исследователи отмечают наличие существенных различий результатов экспериментов при использовании разных моделей перемещений мобильных устройств [3, 4, 8-12]. Далее представлены основные модели перемещения, используемые при тестировании протоколов маршрутизации для самоорганизующихся сетей. Представленные модели расположены следующим образом. Сначала приведены модели индивидуальных перемещений (начиная с модели случайных перемещений по модель перемещения в городских кварталах), затем следуют модели групповых перемещений (с экспоненциально коррелированной модели случайных перемещений до модели групповых перемещений с опорной точкой). На этом список основных моделей, используемых для моделирования перемещений узлов самоорганизующихся сетей заканчивается. Затем, автором приводятся транспортные модели, которые могут быть использованы для моделирования перемещений узлов сетей MANET и модель, созданная коллективом ИИММ КНЦ РАН специально для этой цели.

Модель случайных перемещений мобильных устройств

В этой модели мобильный узел перемещается из текущего в новое местоположение, случайным образом выбирая направление и скорость перемещения. Новая скорость и направление выбираются из предопределенных диапазонов - [мин., скорость, макс. скорость] и $[0, 2\pi]$ соответственно. Каждое перемещение происходит либо через постоянные интервалы времени, либо узел перемещается на постоянное расстояние (рис. 1).

В конце каждого перемещения вычисляются новая скорость перемещения и направление движения.

Модель перемещений мобильных устройств на основе случайных точек

Данная модель включает в себя паузы между изменениями направления и/или скорости. Перемещение мобильного узла начинается с остановки в одном месте в течение определенного периода времени (т.е. паузы). По истечении этого времени мобильный узел выбирает случайную точку в области моделирования и скорость, которая равномерно распределена в определенном диапазоне. Мобильный узел перемещается в направлении точки назначения с заданной скоростью. Достигнув точки назначения, мобильный узел останавливается на некоторое время, затем процесс повторяется (рис. 2).

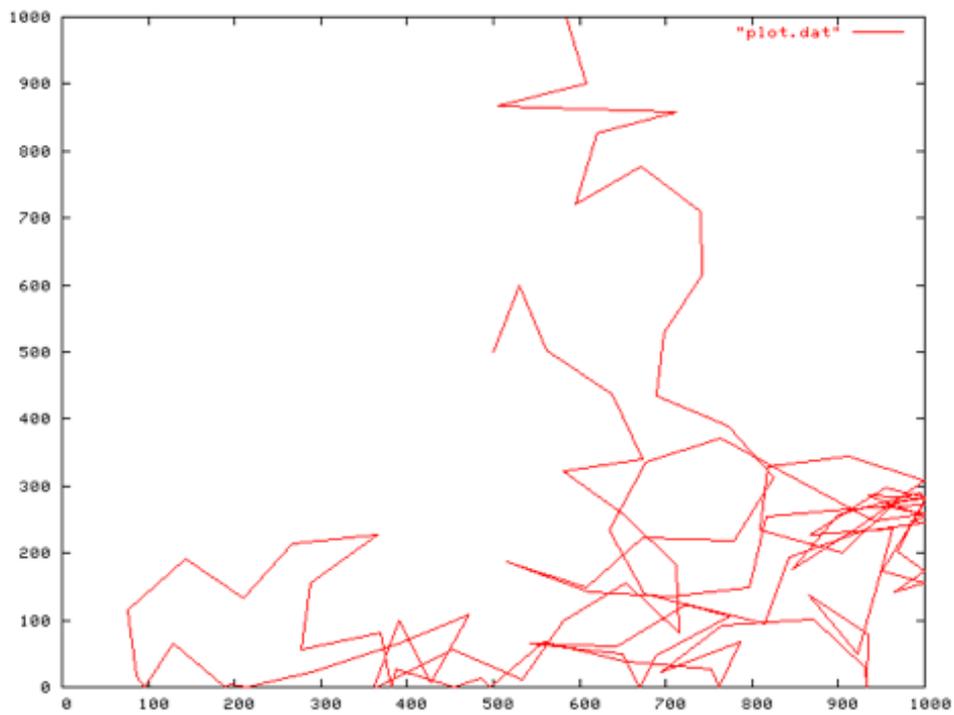


Рис. 1. Модель случайных перемещений мобильных устройств

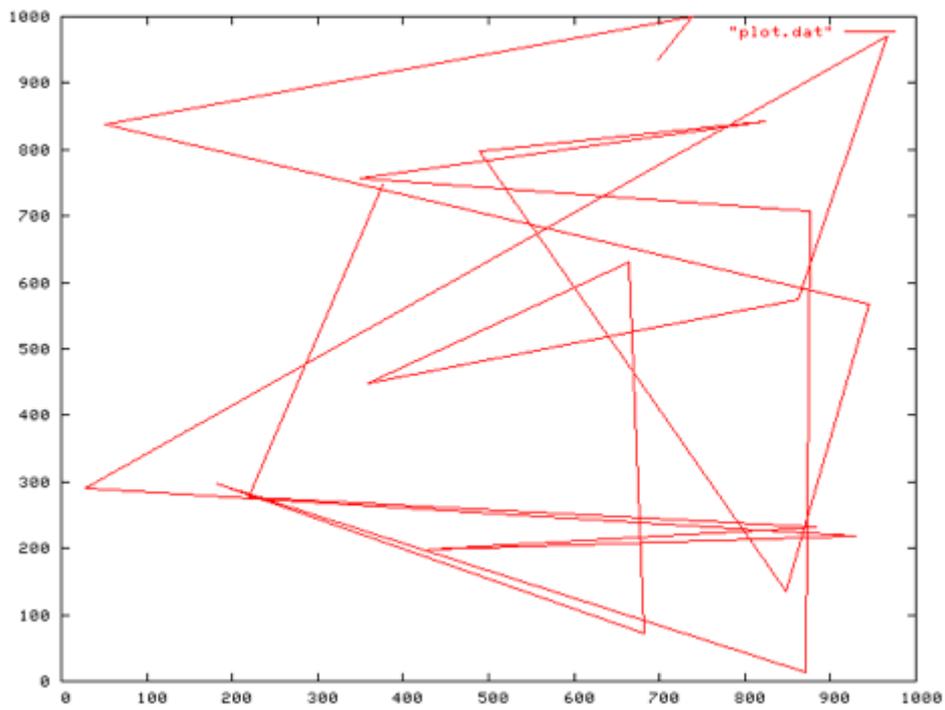


Рис. 2. Модель перемещений мобильных устройств на основе случайных точек

Интересной модификацией данной модели является модель перемещений с взвешенными точками, где учитывается вероятность перехода из одной точки в другую. В работе авторов-создателей [8] этой модификации в роли точек выступили различные корпуса студенческого городка университета Южной Калифорнии.

Модель перемещения мобильных устройств с неограниченной областью моделирования

В модели перемещения мобильных устройств с неограниченной областью моделирования (рис. 3) предыдущие значения скорости и направления движения мобильного узла связаны с текущими значениями. Вектор скорости $V = (v, O)$ используется для описания как скорости мобильного узла v , так и направления движения O . Положение мобильного узла описывается координатами (x, y) .

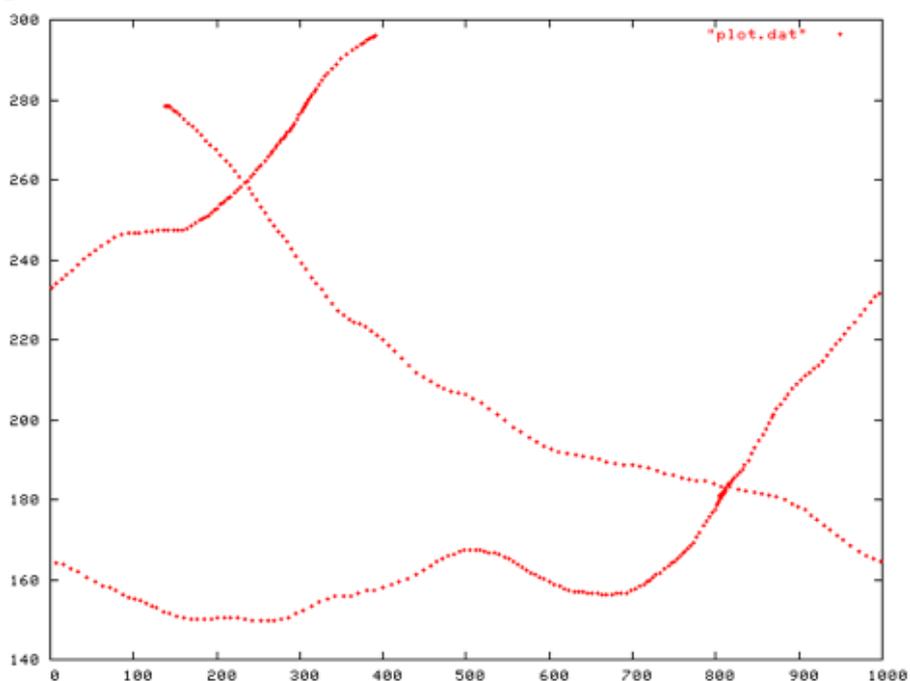


Рис. 3. Модель перемещения мобильных устройств с неограниченной областью моделирования

Вектора скорости и направления обновляются с интервалом Δt в соответствии со следующими формулами:

$$v(t+\Delta t) = \min[\max(v(t) + \Delta v, 0), V_{\max}];$$

- $O(t+\Delta t) = O(t) + \Delta O$;
- $x(t+\Delta t) = x(t) + v(t) * \cos(O(t))$;
- $y(t+\Delta t) = y(t) + v(t) * \sin(O(t))$,

где

- v – скорость;
- V_{\max} - максимальная скорость;
- Δv равномерно распределена между $[-A_{\max} * \Delta t, A_{\max} * \Delta t]$;

- A_{\max} – максимальное ускорение заданного узла;
- O – направление;
- ΔO - изменение направления, равномерно распределена $[-\alpha * \Delta t, \alpha * \Delta t]$;
- α – максимальное угловое изменение.

Модель перемещения мобильных узлов Гаусса-Маркова

Модель Гаусса-Маркова (рис.4) была разработана, чтобы адаптироваться к различным уровням случайности посредством настройки параметров. Сначала каждому мобильному узлу назначается скорость и направление. Через определенный интервал времени происходит обновление движения путем изменения скорости и направления движения мобильного узла. В частности, значение скорости и направления на n-ом проходе рассчитывается на основании значения скорости и направления на (n-1)-ом и случайной переменной с помощью следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \bullet S_n &= \alpha * S_{n-1} + (1 - \alpha) * S + \text{SQRT}(1 - \alpha^2) * SX_{n-1}; \\ \bullet D_n &= \alpha * D_{n-1} + (1 - \alpha) * D + \text{SQRT}(1 - \alpha^2) * DX_{n-1}, \end{aligned}$$

где SQRT – квадратный корень, S_n и D_n являются новыми скоростью и направлением мобильного узла на временном интервале n, где $0 < \alpha < 1$ является параметром, используемым для изменения уровня случайности значений S и D , представляющих собой средние значения скорости и направления соответственно, $n \rightarrow \infty$ и SX_{n-1} и DX_{n-1} - являются случайными величинами Гауссовского распределения.

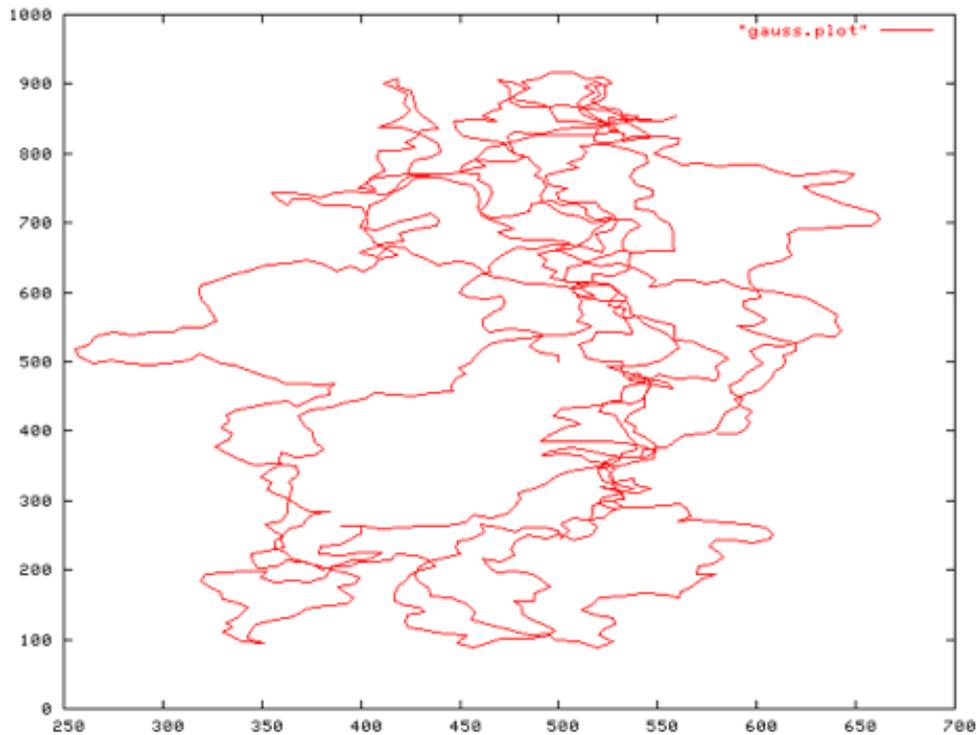


Рис. 4. Модель перемещения мобильных узлов Гаусса-Маркова

Полностью случайные значения (или броуновское движение) получаются путем установки $\alpha = 0$, линейное движение получается установкой $\alpha = 1$. Промежуточные уровни случайности получены путем изменения значения альфа между 0 и 1. В каждом временном интервале следующее местоположение вычисляется на основе текущего местоположения, скорости и направления движения. В частности, во временном интервале n , положение мобильного узла задается уравнениями:

- $X_n = X_{n-1} + S_{n-1} * \cos(D_{n-1})$;
- $Y_n = Y_{n-1} + S_{n-1} * \sin(D_{n-1})$.

Вероятностная версия модели случайного перемещения мобильных узлов

Модель использует матрицы вероятностей для определения положения конкретного мобильного узла на следующем временном шаге (рис.5). Положение представлено тремя различными состояниями для координаты x и тремя различными состояниями для координаты y . Состояние 0 представляет текущее (x или y) положение, состояние 1 - предыдущее и состояние 2 представляет следующее положение мобильного узла, если мобильный узел продолжает двигаться в том же направлении. Матрица вероятностей выглядит следующим образом:

$$P = \begin{pmatrix} P(0,0) & P(0,1) & P(0,2) \\ P(1,0) & P(1,1) & P(1,2) \\ P(2,0) & P(2,1) & P(2,2) \end{pmatrix}.$$

Каждый элемент этой матрицы $P(a, b)$ представляет собой вероятность перехода мобильного узла из состояния a в состояние b . Значения в этой матрице используются для обновления координат x и y мобильного узла.

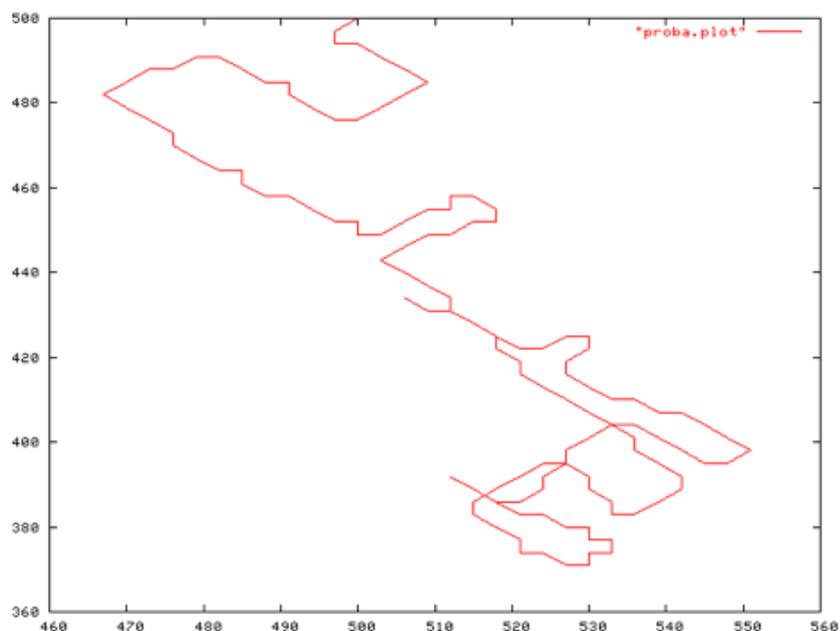


Рис. 5. Вероятностная версия модели случайного перемещения мобильных узлов

Каждый узел перемещается случайным образом с заданной средней скоростью. Мобильный узел может сделать шаг в любом из четырех возможных направлений (то есть, на север, юг, восток, или на запад), пока он продолжает двигаться (т.е., без паузы). Вероятность того, что мобильный узел продолжит следовать в том же направлении, выше, чем вероятность изменения направления движения. Кроме того, определенное значение запрещает перемещение между предыдущими и следующими позициями, не проходя через текущее положение. В итоге, программная реализация модели производит вероятностное, а не чисто случайное движение, которое является более реалистичным.

Модель перемещения в городских кварталах

Областью моделирования является дорожная сеть. Каждый мобильный узел начинает движение в определенной точке (на некоторой улице). Алгоритм движения от текущего положения к новому положению устанавливает путь, соответствующий кратчайшему времени пути между этими двумя точками (рис.6).

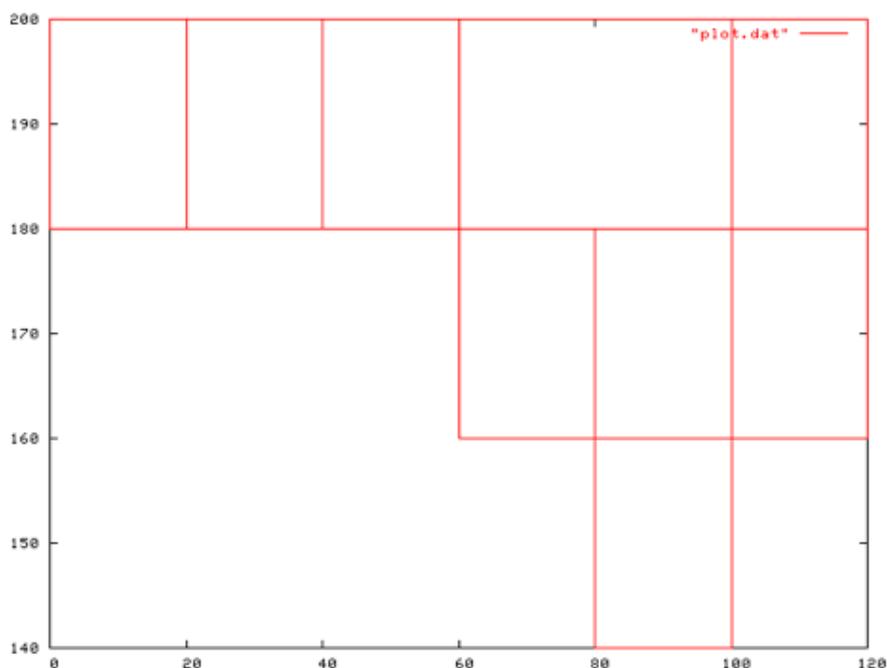


Рис. 6. Модель перемещения мобильных узлов в городских кварталах

В модели учитываются ограничение скорости и минимальная дистанция между двумя мобильными устройствами. Достигнув места назначения, мобильный узел делает паузу на некоторое время, после этого выбирает новый пункт назначения и процесс повторяется.

Экспоненциально коррелированная модель случайных перемещений

Одной из первых предложенных моделей групповых перемещений является экспоненциально коррелированная модель случайных перемещений. В

этой модели используется функция движения $b(t)$. На основе текущего положения мобильного узла или группы в момент времени t , с помощью $b(t)$ вычисляется следующее положение в момент времени $t + 1$, $b(t + 1)$:

$$b(t + 1) = b(t)e^{-\frac{1}{\tau}} + (\sigma\sqrt{1 - (e^{-\frac{1}{\tau}})})r,$$

где τ регулирует скорость изменения положения (т.е., небольшому значению τ соответствует большая скорость изменения) и r - случайная переменная Гаусса с дисперсией σ . Однако создать нужный шаблон движения только выбрав соответствующие τ и σ достаточно сложно [5]. В следующих моделях делается попытка исправить этот недостаток.

Колонная модель перемещений

Модель (рис. 7) представляет собой набор мобильных узлов, которые перемещаются вокруг заданной линии (или колонны), которая движется в прямом направлении (например, ряд солдат, идущих вместе в направлении врага). Небольшая модификация колонной модели мобильности позволяет индивидуальным мобильным узлам следовать друг за другом (например, группа детей, идущих колонной в их класс).

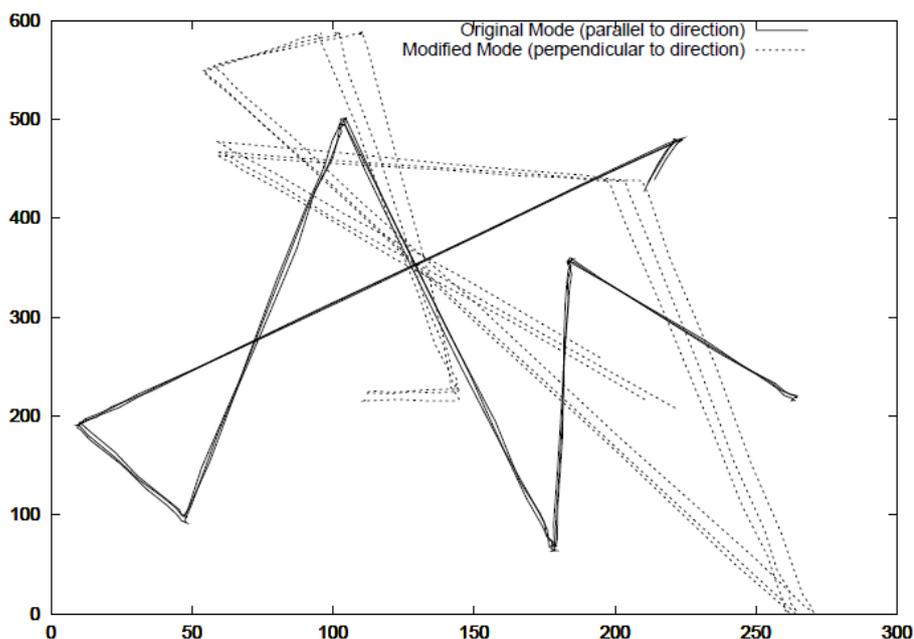


Рис. 7. Колонная модель перемещений

Для реализации этой модели определяется начальная координатная сетка (формирование колонны мобильных узлов). Каждый мобильный узел помещается в координатной сетке в соответствии с его опорной точкой; впоследствии, этому мобильному узлу разрешается перемещаться случайным образом вокруг этой опорной точки по всей области моделирования

перемещений. Новая опорная точка для данного мобильного узла определяется следующим образом:

$$new_reference_point = old_reference_point + advance_vector$$

Модель преследования

Как следует из названия, данная модель предназначена для представления процесса следования мобильным узлом за конкретной целью (например, полицейских, пытающихся поймать сбежавшего преступника). Модель преследования состоит из одого обновления уравнения для нового место-положения каждого мобильного узла:

$$new\ position = old\ position + acceleration(target - old\ position) + random\ vector,$$

где $new\ position$ - новое местоположение,

$acceleration(target - old\ position)$ - информация о приближении мобильного узла к цели (функция ускорения),

$random\ vector$ – вектор случайного смещения для каждого мобильного узла.

Значение вектора случайного смещения задается в зависимости от используемой модели, (например, модели случайных перемещений). Уровень случайности для каждого мобильного узла ограничен в целях поддержания эффективного преследования мобильным узлом цели. Текущее положение мобильного узла, случайный вектор и функция ускорения объединены для расчета следующего местоположения мобильного узла. На рис. 8 изображено преследование цели пятью мобильными узлами.

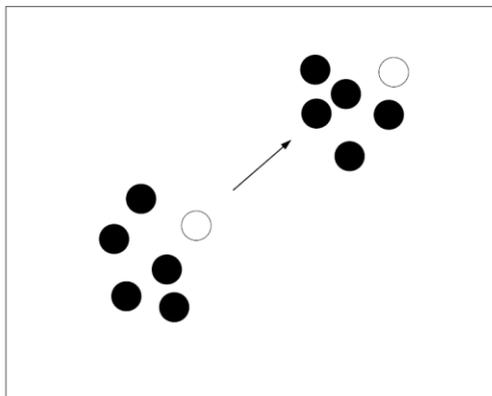


Рис. 8. Модель преследования

Белый круг является целью, а черные круги обозначают преследующие мобильные узлы. В то же время, модель преследования может быть легко реализована с помощью модели групповых перемещений с опорной точкой.

Модель групповых перемещений с опорной точкой

Модель групповых перемещений с опорной точкой (рис. 9) представляет собой случайное движение группы мобильных узлов, а также случайное движение каждого мобильного узла в группе. Групповые движения основаны на

пути, пройденном логическим центром группы. Он используется для расчета группового движения с помощью вектора движения группы GM . Движение центра группы полностью характеризует движение этой соответствующей группы мобильных узлов, включая их направление и скорость. Каждый узел в отдельности случайным образом передвигается около своих predetermined опорных точек RP , чье движение зависит от движения группы. Так как отдельные опорные точки перемещаются между моментами времени t и $t+1$, их местоположение обновляется в соответствии с логическим центром группы.

После того, как обновятся опорные точки группы, вычисляется $RP(t+1)$, они объединяются со случайным вектором RM , чтобы представить случайное движение каждого мобильного узла вокруг собственной опорной точки. Длина RM равномерно распределена в пределах указанного радиуса, исходящего из точки $RP(t+1)$, а направление равномерно распределено между 0 и π .

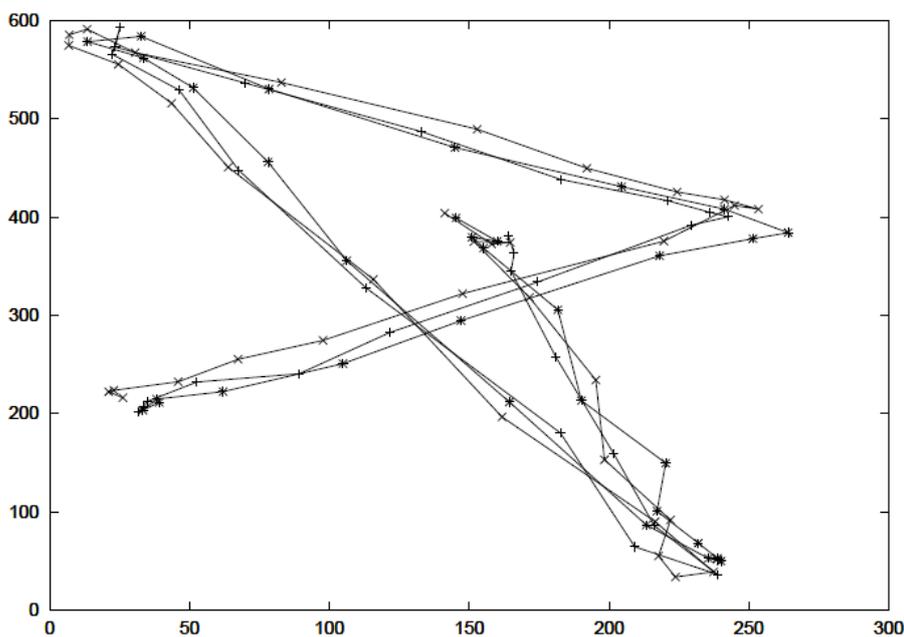


Рис. 9. Модель групповых перемещений с опорной точкой

Для создания самоорганизующихся систем на транспорте как служебного, так и общественного пользования представляется целесообразным при разработке, тестировании протоколов маршрутизации и передачи данных использовать модели перемещения транспортных средств. Основная идея заключается в том, что в каждом транспортном средстве находится хотя бы одно мобильное устройство (впрочем, количество этих устройств можно учитывать при создании конкретной модели). Для моделирования процессов передачи данных в мобильных самоорганизующихся сетях масштаба небольшого города в большей степени подходят так называемые микроскопические [6] модели, позволяющие учитывать местоположение и скорость каждого транспортного средства в определенный момент времени. На основе этой информации становится возможным построение карты расположения узлов мобильной сети.

Ниже приведены основные подходы к микроскопическому моделированию движения транспортных средств. В основе этих подходов лежит концепция «о желании придерживаться при движении безопасной дистанции до лидера».

Модель оптимальной скорости Ньюэлла

Пусть АТС в однополосном потоке пронумерованы слева направо. Обозначим через $s_n(t)$ – координату центра n -го АТС в момент времени $t \geq 0$. Положим $h_n(t) = s_{n+1}(t) - s_n(t)$, $v_n(t) = s_n'(t)$.

В микроскопической (рис. 10) модели Ньюэлла (эта модель была предложена в 1961 г. и является одной из первых нелинейных моделей оптимальной скорости [29, 30]) постулируется, что (для каждого водителя существует «безопасная» скорость движения, зависящая от дистанции до лидера): $v_n(t + \tau) = V(1/h_n(t))$, где τ – время, характеризующее реакцию водителей, и $V'(p) < 0$.

Заметим, что по зависимости интенсивности потока $Q(p) = pV(p)$ от плотности p в окрестности P_{\max} (максимально возможное значение плотности также часто обозначается как P_j [29] можно определить τ , если известна средняя длина АТС L [29] ($L \sim 5,7$ м):

$$\tau = -L \cdot Q'(p_{\max}).$$

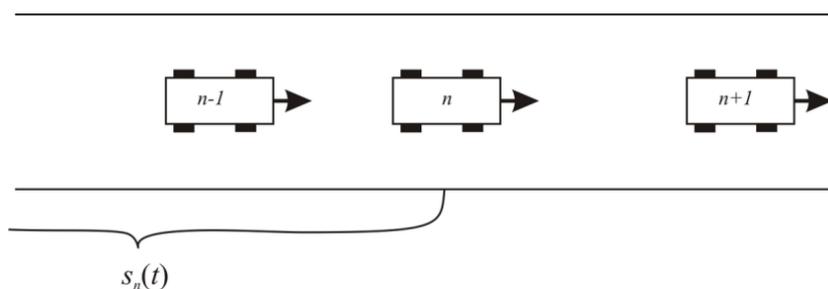


Рис. 10. Микроскопическая модель

Модель следования за лидером Дженерал Моторс

Другим важным классом микроскопических моделей (наряду с моделями оптимальной скорости) являются модели следования за лидером [27, 22, 23, 24, 28].

В 1959 г. сотрудники концерна Дженерал Моторс Д. Газис, Р. Херман, Р. Потс [58, 13] предложили одну из первых (первыми, по-видимому, были модели А. Рёшеля (1950) и Л. Пайпса (1953)) нетривиальных микроскопических моделей однополосного транспортного потока (обозначения те же, что и выше), с помощью которой можно получить фундаментальную диаграмму. Простейшим вариантом предложенной модели является следующая модель:

$$s_n''(t + \tau) = \alpha \frac{s_{n+1}'(t) - s_n'(t)}{s_{n+1}(t) - s_n(t)}, \alpha > 0.$$

Ускорение n-го АТС $s_n''(t)$ прямо пропорционально разности скоростей:

$$\Delta v_n(t) = s_{n+1}'(t) - s_n'(t),$$

(если $\Delta v_n(t) > 0$, то $s_n''(t) > 0$ - ускорение n-го АТС; $\Delta v_n(t) < 0$, - торможение; $\Delta v_n(t) = 0$ - стационарный режим (ускорение равно нулю)) с коэффициентом пропорциональности (чувствительности) обратно пропорциональным расстоянию до впереди идущего АТС:

$$h_n(t) = s_{n+1}(t) - s_n(t).$$

Время реакции $\tau > 0$ вводится в модели следования за лидером по той же причине, что и в модель Ньюэлла: для неустойчивости в линейном приближении стационарного режима движения при больших значениях плотности.

Модель «разумного водителя» Трайбера

Модели оптимальной скорости и следования за лидером можно объединить в одну общую микроскопическую модель разумного водителя (Intelligent Driver Model (IDM)):

$$s_n''(t) = F(s_{n+1}(t) - s_n(t), s_{n+1}'(t) - s_n'(t), s_n'(t)).$$

Как показали численные эксперименты, наиболее «удачной» моделью этого класса является модель М. Трайбера (Трайба, 1999) [22 - 26]:

$$s_n''(t) = a_n \cdot \left[1 - \left(\frac{s_n'(t)}{V_n^0} \right)^\delta - \left(\frac{d_n^*(s_n'(t), s_{n+1}'(t) - s_n'(t))}{s_{n+1}(t) - s_n(t)} \right)^2 \right].$$

Первое слагаемое

$$a_n \cdot \left[1 - \left(\frac{s_n'(t)}{V_n^0} \right)^\delta \right]$$

в правой части этого соотношения описывает динамику ускорения АТС на свободной дороге, в то время как второе слагаемое описывает торможение из-за взаимодействия с лидером(впереди идущим АТС). Собственно модель

$$s_n''(t) = a_n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_n^*(s_n'(t), s_{n+1}'(t) - s_n'(t))}{s_{n+1}(t) - s_n(t)} \right)^2 \right]$$

естественно называть моделью следования за лидером.

Очевидно, что параметр δ отвечает за поведение при разгоне (при $\delta = 1$ имеет место экспоненциальный по времени разгон, в пределе при $\delta \rightarrow \infty$ разгон происходит с постоянным «комфортным» ускорением a_n вплоть до достижения желаемой скорости V_n^0). Тормозящий член определяется отношением желаемой дистанции d_n^* (безопасным расстоянием) к фактической дистанции:

$$h_n(t) = s_{n+1}(t) - s_n(t),$$

причем желаемая дистанция определяется следующим образом:

$$d_n^*(s'_n(t), s'_{n+1}(t) - s'_n(t)) = d_n + T_n s'_n(t) - \frac{s'_n(t)(s'_{n+1}(t) - s'_n(t))}{2 \cdot \sqrt{a_n b_n}},$$

где d_n - расстояние между АТС (n-ым и (n+1)-м) в заторе (естественно, что $d_n \geq L$, где $L \sim 5,7$ м – средняя длина АТС, и, действительно, принято считать, что $d_n \sim 7,5$ м), b_n - ускорение комфортного торможения ($a_n \sim b_n \sim 2$ м/с²), T_n - аналог времени реакции водителя.

Поясним предложенную для безопасного расстояния формулу. Пока водитель n-го АТС среагирует на изменение ситуации впереди, он проедет путь $T_n s'_n(t)$. Потом, «поняв, что надо, скажем, тормозить» ($s'_{n+1}(t) < s'_n(t)$), он успеет выровнять свою скорость со скоростью впереди идущего АТС (двигаясь с ускорением торможения b_n) до момента, когда достигнет (n+1)-е АТС, только если расстояние в момент, когда «пришло понимание» между n-м и (n+1)-м АТС,

было не меньше
$$- \frac{s'_n(t)(s'_{n+1}(t) - s'_n(t))}{2 \cdot \sqrt{a_n b_n}}.$$

Ситуация, когда надо ускориться ($s'_{n+1}(t) > s'_n(t)$), рассматривается аналогичным образом. Собственно, из-за желания охватить «одной формулой» две довольно сложные ситуации (ускорение и торможение) и возник знаменатель $2 \cdot \sqrt{a_n b_n}$.

Заметим, что в правилах дорожного движения (ПДД) некоторых старн величина T_n достаточно жестко регламентирована (ограничена снизу ПДД). Так, например, в США от водителя требуют увеличивать безопасное расстояние (считается, что впереди идущее АТС имеет ту же скорость) на длину АТС L при увеличении скорости на 5 м/с (т.е. на 18 км/ч). Таким образом, $T_n \sim 5,7[m]/5[m/c] \sim 1,1c$, что хорошо согласуется с оценками этой величины в других моделях (например, модели Ньюэлла).

Модели клеточных автоматов

В моделях клеточных автоматов (Cellular Automata (CA)) дорога разбивается на клетки, дискретным считается и время. Часто (но далеко не всегда [13–16], считается, что в клетке может находиться не больше одного АТС. Таким образом, получаются разностные аналоги рассматриваемых ранее макроскопических уравнений. Заметим также, что часто и множество возможных значений скорости АТС считают дискретным в таких моделях.

Концепция клеточных автоматов была введена Дж. фон Нейманом (Нойманом) в 50-е годы XX века [17] в связи с разработкой теории самовоспроизводящихся машин. Применять клеточные автоматы для моделирования транспортных потоков предлагалось в работе [18]. Однако активное использование этой концепции началось только после работы К. Нагеля и М. Шрекенберга [19] (подробности см. в обзорах [20, 21]). Опишем вкратце

модель Нагеля–Шрекенберга (1992 г.). В CA-модели на каждом шаге $m \rightarrow m+1$ состояние всех АТС в системе обновляется в соответствии со следующими правилами.

Шаг 1. Ускорение (отражает тенденцию двигаться как можно быстрее, не превышая максимально допустимую скорость):

$$v_n(m+1) = \min \{v_n(m) + 1, v_{\max}\};$$

Шаг 2. Торможение (гарантирует отсутствие столкновений с впереди идущими АТС):

$$v_n(m+1) = \min \{v_n(m), s_{n+1}(m) - s_n(m) - d\}, \text{ где } d \sim 7,5 \text{ м.}$$

Шаг 3. Случайные возмущения (учитывают различия в поведении АТС):

$$v_n(m+1) = \begin{cases} \max \{v_n(m) - 1, 0\}, & p \\ v_n(m), & 1 - p \end{cases},$$

Шаг 4. Движение:

$$s_n(m+1) = s_n(m) + v_n(m).$$

Все четыре приведенных шага необходимы для воспроизведения основных свойств транспортного потока. Так, например, шаг 3 обуславливает неустойчивость транспортного потока при достаточно больших плотностях.

Опыт построения модели перемещений транспортных средств для небольшого города

Для тестирования разрабатываемого алгоритма маршрутизации для MANET коллективом авторов ИИММ КНЦ РАН был создан программный прототип модели автомобильного трафика улично-дорожной сети г. Апатиты. Целью, поставленной перед разработчиками, являлось получение «карты» расположения транспортных средств в определенные моменты времени. Основное предположение заключается в том, что в каждом транспортном средстве находится хотя бы одно мобильное устройство, коммуникационный и вычислительный ресурс которого может быть использован для организации информационно-коммуникационной сети без использования базовых станций связи.

В общепринятых терминах, разработанная модель является моделью клеточных автоматов дискретной по времени и пространству. В качестве основы модели использован алгоритм перемещения транспортных средств, предложенный коллективом авторов ИИММ КНЦ РАН [7]. Система координат представляет собой «решетку» в некотором роде, аналогичную решетке клеточного автомата. Дорожная сеть разбита на отрезки различной длины и направлений. Каждый отрезок имеет конечное количество точек (соответствующее длине отрезка), ширину (количество полос), а также информацию о занятости каждой точки отрезка. Транспортное средство представлено следующими параметрами: текущие координаты, средняя скорость (за шаг моделирования), маршрут (набор отрезков дорожной сети), время начала маршрута (номер шага моделирования).

Отличительной особенностью модели является так называемый квазислучайный (маршруты выбираются случайным образом из определенного заранее устоявшегося в данном населенном пункте набора маршрутов) выбор

маршрутов и времени появления транспортного средства на определенном участке дороги. Таким образом, в модели присутствует детерминированная составляющая – заранее определенные маршруты, общее количество транспортных средств, и случайная – вероятность выхода/невыхода на маршрут, вероятность изменения маршрута, обгона. На рис. 11 представлена оконная форма, отражающая процесс имитации движения транспортных средств по улично-дорожной сети г. Апатиты.

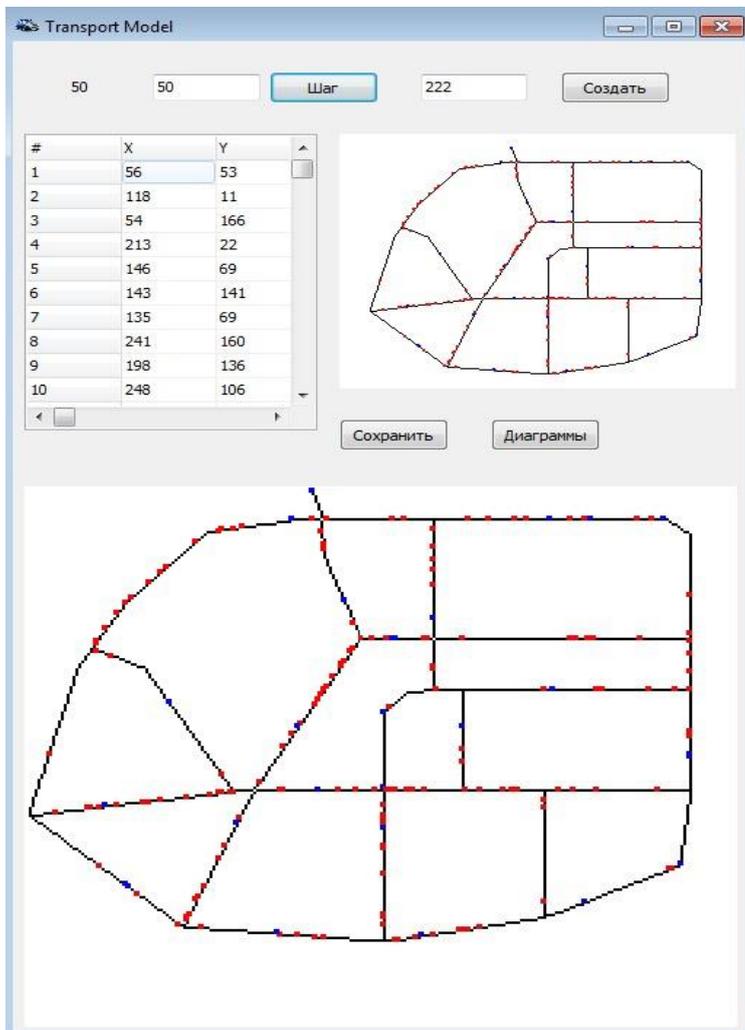


Рис. 11. Оконная форма имитации движения транспортных средств по УДС г. Апатиты

Данная модель использована для получения «карты» расположения в двумерном пространстве координат мобильных узлов в определенные моменты времени. Ключевыми характеристиками, влияющими на процессы передачи данных в одноранговых информационно-коммуникационных сетях и интересующими исследователей при создании модели, являлись плотность мобильных узлов и динамика перемещения. В дальнейшем модель планируется расширить

территориально и функционально для увеличения уровня реалистичности.

Заключение

В статье представлены основные модели перемещений, используемых при создании имитационных моделей для тестирования алгоритмов маршрутизации и передачи данных в самоорганизующихся сетях. Кроме того, приведены описания нескольких транспортных моделей, которые могли бы использоваться для тестирования методов организации как специализированных MANET на транспорте, так и общественных сетей. Следует отметить, что для моделирования MANET идеальными представляются комплексные модели, охватывающие перемещения владельца мобильного устройства, как в роли пешехода, так и в роли водителя или пассажира, что позволило бы производить тестирование разработанных протоколов в условиях максимально приближенным к реальным. К сожалению, на сегодняшний день подобные комплексные модели отсутствуют, хотя теоретические и технические предпосылки для их построения существуют. Другими словами, практический интерес представляет построение моделей, позволяющих воспроизводить процесс перемещения каждого мобильного устройства. Одним из вариантов для получения таких моделей представляется объединение моделей транспортных потоков и моделей пешеходных потоков. В то же время при наличии реальных данных о местоположении каждого устройства в различные моменты времени, разработка подобных моделей существенно упрощается. Например, в работе [10] представлены возможные источники данных для построения подобных моделей. Сложность заключается в получении этих данных. Далеко не все мобильные устройства оборудованы навигационными чипами, функции навигации не всегда включены по причине экономии энергопотребления устройства. В то же время, приблизительные координаты местонахождения мобильного телефона можно получить с помощью базовых станций, однако во всех вышеперечисленных случаях, эта информация доступна лишь владельцу конкретного мобильного устройства или операторам сотовой связи и, по вполне понятным причинам, является закрытой. Поэтому была предпринята попытка создать собственную модель перемещений транспортных средств для конкретного небольшого города, учитывая структуру улично-дорожной сети. В итоге, был разработан программный прототип, позволяющий получать «карты» расположения мобильных устройств в определенные моменты времени. Данный прототип планируется расширить территориально и функционально и использовать для моделирования функционирования (процессов передачи данных) одноранговых информационно-коммуникационных сетей.

Литература

1. 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. – Вып. 3. - 4/2012(11). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. –С.99-105.
2. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях / В.М. Винокуров и др. // Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, № 2 (22), ч.1, декабрь 2010.

3. Camp, T. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research / T. Camp, J. Boleng, V. Davies // *Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol.2, no.5, 2002.- P.483-502.
4. A detailed study of mobility models in wireless sensor network. Vasanthi.V, Romen Kumar. M, Ajith Singh. N and M. Hemalatha. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 15th November 2011. -Vol. 33, No.1, 2011.
5. A group mobility model for ad hoc wireless networks / X. Hong and others // *In Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, August 1999.
6. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / А.В. Гасников и др. - М.: МФТИ, 2010. - 362 с.
7. Шишаев, М.Г. Имитационная модель пространственных перемещений объектов с квазислучайными параметрами маршрутов / М.Г. Шишаев, С.Ю. Елисеенко // *Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии*. – Вып.3. - 4/2012(11). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. -С.106-114.
8. Weighted Waypoint Mobility Model and its Impact on Ad Hoc Networks / Wei-jen Hsu and others // *Mobile Computing and Communications Review*. - Vol.9, № 1, 59 p.
9. Lu, G. Mobility Modeling in Mobile Ad Hoc Networks with Environment-Aware / Gang Lu, Gordon Manson, Demetrios Belis // *Journal of Networks*, Vol.1, №1, may 2006.
10. Датьев, И.О. Информационные системы для извлечения данных о перемещениях мобильных устройств / И.О. Датьев, А.С. Шемякин // *Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии*. – Вып. 4. -4/2013(17).– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. – С.46-63.
11. Зацепин, Э.С. Обзор характеристик протоколов маршрутизации в mesh-сетях / Э.С. Зацепин // *Международный журнал экспериментального образования*. - 2013. - №10. – С.342-345.
12. Метелёв, А.П. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях / А.П. Метелёв, А.В. Чистяков, А.Н. Жолобов // *Вестник Нижегородского университета имени Н.И. Лобачевского*. - 2013. –№ 3(1). - С.75-78.
13. Kurzhanskiy, A.A. Modeling and software tools for freeway operational planning // PhD thesis, Berkeley: University of California, 2007; (see also Xiaotian Sun, PhD thesis, Berkeley: University of California, 2005; Gabriel Clemente Gomes Parisca, PhD thesis, Berkeley: University of California, 2004.). – Режим доступа: <http://lihodeev.com/pubs.html>, <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2007/EECS-2007-148.pdf>
14. Куржанский, А.А. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью / А.А. Куржанский, А.Б. Куржанский, П.Л. Варайя // *Труды МФТИ (спец. выпуск, посвященный математическому моделированию транспортных потоков / под ред. акад. В.В. Козлова)*. -2010. -Т.2. -№ 4(8). -С.100–118.

15. Daganzo, C.F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory // *Transp. Res. B*. -1994. -V.28. -№ 4. -P.269–287.
16. Daganzo, C.F. The cell transmission model, Part II: Network traffic // *Transp. Res. B*. -1995. -V.29, №2. - P.79–93.
17. Фон Нейман, Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов / Дж. Фон Нейман. - М.: УРСС, 2010.
18. Cremer, M.A. fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations / M. Cremer, J.Ludwig // *Math. Comp. Simul.* -1986. -V.28. -P.297–303.
19. Nagel, K.A cellular automation model for freeway traffic / K. Nagel, M. Schreckenberg // *Phys. I France*. -1992. -V.2. -P.2221–2229.
20. Chowdhury, D., Santen, L., Schadschneider, A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems / D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider // *Phys. Rep.* -2000. -V.329. -P.199–329. arXiv:cond-mat/0007053v1
21. Nagatani, T. The physics of traffic jams / T. Nagatani // *Reports on Progress in Physics*. -2002. -V.65. -P.1331–1386.
22. Kerner, B.S. Introduction to modern traffic flow theory and control. The long road to three – phase traffic theory. Springer, 2009. -265 p.
23. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // *Автоматика и телемеханика*. -2003. -№11. -С.3–46.
24. Helbing, D. Traffic and related self-driven many particle systems // *Reviews of modern physics*. -2001. -V.73. -№ 4. -P.1067–1141.
25. Treiber, M. Explanation of observed features of selforganization in traffic flow / M. Treiber., D. Helbing // E-print arXiv: cond-mat/9901239, 1999. -503 p.
26. Treiber, M. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulation / M. Treiber, A. Hennecke, D. Helbing // *Phys. Rev. E*. -2000. -V.62. -P.1805–1824.
27. Traffic flow theory: A state-of-the-art report / N.H. Gartner and others // Washington DC: Transportation Research Board, 2001. -386 p.
28. Gazis, D.C. Traffic science. N.Y.: -Wiley, 1974. -293 p.
29. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. -М.: Мир, 1977. -638 с.
30. Newell, G.F. Nonlinear effects in the dynamics of car – following // *Oper. Res.* -1961. -V.9. -P.209–229.

Сведения об авторе

Датьев Игорь Олегович – к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: datyev@iimm.ru

Igor O. Datyev – Ph.D. (Tech. Sci.), researcher

УДК 004.5

В.В. Диковицкий¹, М.Г. Шишаев^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Аннотация

В работе выдвинуто предположение о существовании оптимальной структуры интерфейсов информационных систем. Рассмотрена зависимость количества действий пользователя от формы навигационной структуры интерфейса.

Ключевые слова:

навигационная структура, пользовательский интерфейс.

V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev

ON AN OPTIMAL NAVIGATION STRUCTURE OF INFORMATION SYSTEM'S USER INTERFACES

Abstract

The paper suggested the existence of the optimal structure of interfaces of information systems. The dependence of the number of user actions on the form of the navigation structure of the interface.

Keywords:

navigation structure, user interface.

Введение

С ростом масштабов информационных систем, в смысле объемов хранимой информации, все более актуальной становится задача оптимальной структуризации информационных элементов, имеющих в системе. Информационный элемент - единица информации, подлежащая обработке, хранению и передаче пользователям системы или предназначенная для обеспечения ее работы [14]. Любая информационная система (ИС) содержит множество информационных элементов (документов, html-страниц), адресованных конечному пользователю. Современные информационные системы отличаются большим количеством информационных элементов. Вместе с тем данное множество не статично – практически любая ИС в настоящее время обладает динамикой своего содержания, что приводит к затруднениям пользователя в плане доступа к требуемой информации. Целью навигационного интерфейса является структуризация и обеспечение доступа пользователю к информационным элементам. От вида навигационной структуры (логики организации, упорядоченности меню, количества разделов и их

* 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»).

иерархии) зависит количество вариантов перебора, необходимых для доступа к искомому информационному элементу.

Тенденции развития современных ИТ включают исследования, направленные на изучение сложности и удобства использования («usability») пользовательских интерфейсов, выдвигаются формальные критерии оценки сложности интерфейсов. В данной работе выдвигается предположение о наличии оптимальных значений количества уровней и количества разделов навигационной структуры.

Оценка сложности навигационной структуры

Существующие оценки пользовательских интерфейсов можно разделить на две группы – экспериментальные и формальные оценки. Среди методик оценки сложности интерфейсов первой группы следует отметить методы экспертных оценок [7], анкетирования пользователей [13, 8, 4, 5], оценки, базирующиеся на экспериментальных данных [3, 10], например, времени выполнения операции, количество совершенных ошибок. Однако, наибольший интерес представляют формальные методы оценки сложности интерфейса, так как позволяют проводить исследование еще на этапе проектирования, а так же позволяют проводить оценку адаптивных динамических пользовательских интерфейсов [16]. Среди формальных оценок, можно выделить оценку информационного поиска, информационную производительность модели KLM-GOMS, оценку сложности системы по количеству объектов и классов [4], оценку сложности визуального представления интерфейса XAOS – Actions [11], оценку на основе метаданных об интерфейсе (LOC-CC модель измерения сложности) [1].

Следует отметить, что все перечисленные методики, за исключением [1] оценивают фактически представленный интерфейс, и не подразумевают возможности синтеза на их основе пользовательских интерфейсов с заданными качествами. Вместе с тем, целенаправленное формирование навигационной структуры интерфейса, адаптированной к ментальным стереотипам пользователя, позволяет значительно повысить эффективность работы с информационной системой. В работе [15] проводилось исследование навигационной структуры интерфейсов нескольких популярных веб-ресурсов на предмет выявления преобладающих семантических связей навигационной структуры. Исследование показало, что даже в весьма популярных информационных системах вопросу соответствия структуры навигации ожиданиям пользователя не уделяется должного внимания.

Идеальная навигационная структура должна быть такова, чтобы пользователь мог с наивысшей уверенностью делать предположения о содержимом того или иного раздела (группы) информационных элементов. Это позволяет сократить предельное количество вариантов перебора в процессе поиска интересующего пользователя информационного элемента. Вместе с тем, это количество существенным образом зависит и от независимых от семантики характеристик навигационной структуры – количества разделов, их размеров, количества уровней в структуре.

Рассмотрим сложность интерфейса с точки зрения количества вариантов перебора для поиска пользователем требуемого информационного элемента, а именно зависимость количества вариантов перебора от количества групп

информационных элементов на одном уровне и глубины навигационной структуры. Обозначим N – количество информационных элементов, k – количество равных по мощности групп n_i^l на одном уровне навигационной структуры, l – количество уровней навигационной структуры.

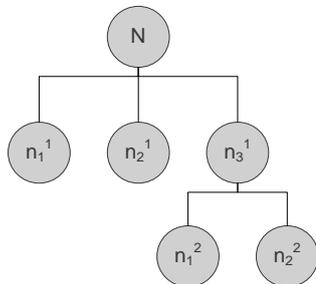


Рис. 1. Навигационная структура

В случае, когда классифицирующие признаки однозначны и позволяют произвести разбиение информационных элементов на равные по мощности множества (группы), зависимость количества вариантов перебора от количества информационных элементов и можно выразить формулой:

$$f(N, l, k) = \frac{N}{k^l} + (k - 1)l,$$

где N - количество информационных элементов, k - количество групп информационных элементов на одном уровне, l - количество уровней иерархии навигационной структуры.

Логично предположить, что разбиение на равные группы информационных элементов по некому классификационному признаку, позволяет сократить количество вариантов перебора, однако при большом значении k данная зависимость малозначительна (рис. 2).

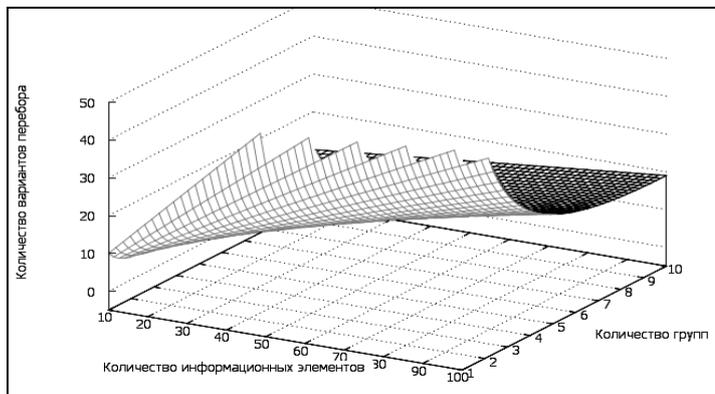
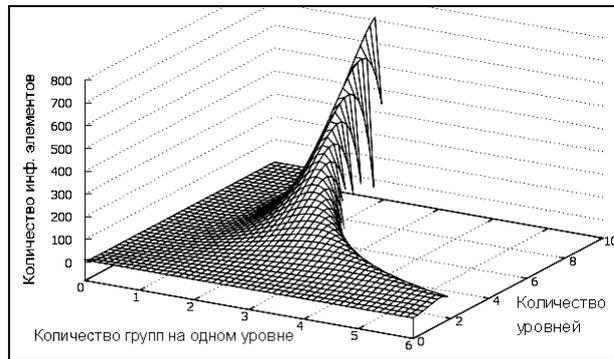


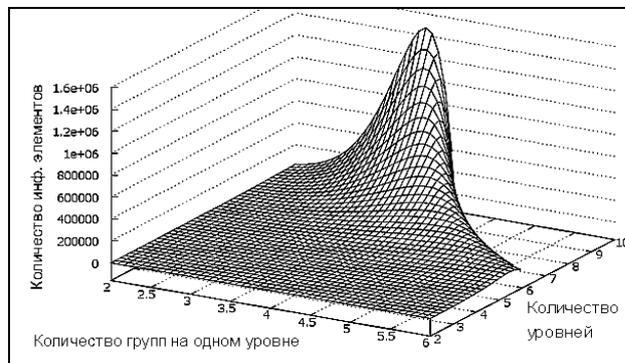
Рис. 2. Зависимость количества вариантов перебора от количества информационных элементов

Ограничим количество вариантов перебора, тогда $N = (F - kl + l)k^l$, где F – количество вариантов перебора. Тогда при различных трудозатратах

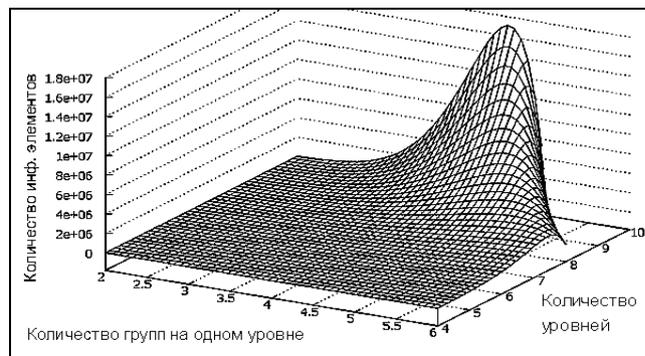
пользователя, выраженных F , в навигационную структуру можно «уместить» N информационных элементов.



а)



б)



в)

Рис. 3. Зависимость количества информационных элементов от количества уровней иерархии навигационной структуры при фиксированном значении количества вариантов перебора: а) $F=10$, б) $F=30$, в) $F=40$

Таким образом, можно предположить, что при наличии навигационной структуры с параметрами k, l , пользователь, осуществив F действий, способен

осуществить навигацию среди N информационных элементах, связанных навигационной структурой.

Если известно количество информационных элементов, то зависимость вариантов перебора от формы навигационной структуры следующая:

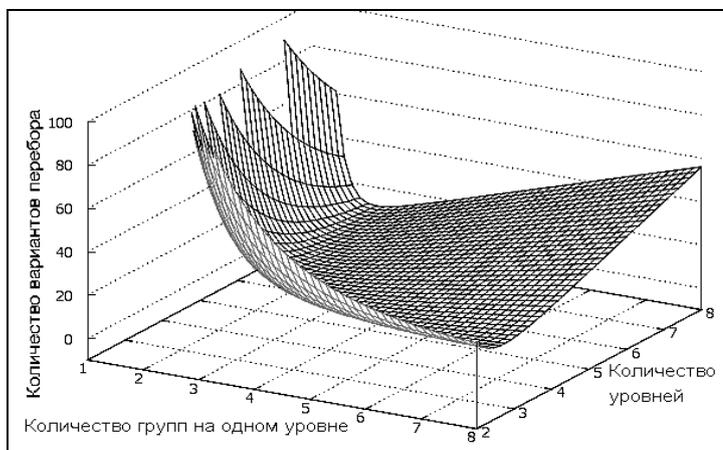


Рис. 4. Зависимость количества вариантов перебора от количества уровней иерархии и количества групп на одном уровне навигационной структуры при фиксированном $N=1000$.

Т.е. можно утверждать, что в навигационной структуре, содержащей N информационных элементов, существуют близкие к оптимальным значения k и l , позволяющие получить доступ к требуемому информационному элементу за минимальное количество действий пользователя.

Заключение

Рост объемов информации, обрабатываемой современными информационными системами, обуславливает необходимость развития технологий оперативного доступа к ней. Одним из путей решения данной проблемы является построения пользовательских интерфейсов, способных предоставить пользователю необходимый функционал для оперирования большими массивами данных. В данной работе рассмотрена зависимость количества действия пользователя от формы навигационной структуры в задаче доступа к требуемому информационному элементу. Результаты позволяют сделать вывод о существовании оптимальных значений количества групп информационных элементов на одном уровне, и количества уровней иерархии навигационной структуры.

Литература

1. Alsmadi I., Al-Kabi M. GUI Structural Metrics // The International Arab Journal of Information Technology, vol. 8, No.2, April 2011. – P.124-129.
2. Bevan N. International Standards for HCI and Usability // International Journal of Human-Computer Studies. – 2001.– 55 (4). – P.533-552.
3. Bevan N., Measuring usability as quality of use // Journal of Software Quality Issue. – 1995. – P.115-140.

4. Bonsiepe, G.A., A Method of Quantifying Order in Typographic Design, Journal of Typographic Research, Vol. 2, 1968. -P.203-220.
5. Brooke, J., Jordan, P. W., Thomas, B., Weerdmeester, B. A., & McClelland, I. L. SUS: A 'quick and dirty' usability scale. Usability evaluation in industry.– London, UK: Taylor & Francis, 1996. -P.189-194.
6. Lewis, James. Evaluation of Procedures for Adjusting Problem-Discovery Rates Estimated from Small Samples. – The International Journal of Human-Computer Interaction 13(4). -2001. -P.445-479.
7. Molich, R., and Nielsen, J. Improving a human-computer dialogue, Communications of the ACM 33, 3 (March). -1990. -P.338-348.
8. Nielsen J., Landauer T.K. A mathematical model of the finding of usability problems.– CHI '93 Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems, 1993. –P.206-213.
9. Paul M. Fitts (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology, volume 47, number 6, June 1954. –P.381–391.
10. Sauro J. Benchmarks For User Experience Metrics. – Режим доступа: www.measuringusability.com/blog/ux-benchmarks.
11. Stickel C., Ebner M., Holzinger A. The XAOS Metric – Understanding Visual Complexity as a measure of usability. – Work & Learning, Life & Leisure, Springer, 2010. -P.278-290.
12. Turner, C. W., Lewis, J. R., and Nielsen, J. Determining usability test sample size. In W. Karwowski (Ed.), International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. -P.3084-3088.
13. Virzi R. Refining the test phase of usability evaluation: how many subjects is enough?– Human Factors - Special issue: measurement in human factors archive, Volume 34, Issue 4, August 1992. -P.457-468.
14. Воройский Ф.С. Информатика. Новый систематизированный толковый словарь-справочник (Введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах). - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 760 с. ISBN 5-9221-0426-8.
15. Коробейников, П.А. Исследование семантической структуры навигационных интерфейсов типовых веб-ресурсов / П.А. Коробейников, М.Г. Шишаев // Труды Кольсконо научного центра РАН. Информационные технологии. –Вып. 4. - 5/2013. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. -С.98-102.
16. Диковицкий, В.В. Формализация задачи построения когнитивных пользовательских интерфейсов мультипредметных информационных ресурсов /В.В. Диковицкий, П.А. Ломов, М.Г. Шишаев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. -Вып. 4.- 5/2013. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. -С.90-98.

Сведения об авторах

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

e-mail: shishaev@iimm.ru

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

Диковицкий Владимир Витальевич - младший научный сотрудник,

e-mail: dikovitsky@iimm.ru

Vladimir V. Dikovitsky – junior researcher

УДК 004.5

М.Г. Шишаев^{1,2}, В.В. Диковицкий¹

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ МУЛЬТИПРЕДМЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Аннотация

В статье рассмотрена технология синтеза адаптированных к ментальным стереотипам пользователя навигационных структур пользовательских интерфейсов. Технология ориентирована на использование в мультипредметных информационных системах, основанных на знаниях. Технология базируется на предложенных авторами формальных моделях: мультипредметной ИС, модели ментальных стереотипов пользователя, модель навигационного интерфейса.

Ключевые слова:

мультипредметная ИС, когнитивный пользовательский интерфейс, навигационная структура.

M.G. Shishaev, V.V. Dikovitsky

TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS OF ADAPTIVE USER INTERFACES OF MULTISUBJECT INFORMATION SYSTEMS

Abstract

The article describes the technology for synthesis of user interfaces adapted to the user's mental stereotype. Technology is focused on the use within multisubject information systems based on knowledge. The technology is based on formal models proposed by the authors: multisubject IS, model of user's mental stereotypes, model of.

Keywords:

multisubject IS, cognitive user interface, navigation structure.

Введение

В настоящее время широкое распространение получают информационные системы (ИС) обладающие крупными информационными базами и специализированные для удовлетворения информационных потребностей одновременно нескольких различных категорий пользователей. Авторы предложили именовать подобные системы мультипредметными [1]. Для эффективного (в смысле удовлетворения нужд пользователей в быстром доступе к релевантной их запросам информации) функционирования подобных систем очень важно обеспечить адаптацию их пользовательских интерфейсов к особенностям восприятия и интерпретации информации пользователями различных категорий. Такая адаптация должна обеспечить свойство привычности интерфейса, а через это – и его лучшие когнитивные свойства [2].

* 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 данной работе предложено формальное определение мультипредметной информационной системы (МПИС) и описана технология синтеза навигационной структуры пользовательского интерфейса систем подобного класса, адаптированного под ментальные стереотипы пользователей. Поскольку в рамках данной статьи обсуждается вопрос организации функционирования ИС, относящихся к категории информационно-поисковых, то есть нацеленных, в первую очередь, на предоставление доступа пользователю к некоторому пулу информации, или информационному ресурсу, то здесь и далее понятие «мультипредметная ИС» отождествляется с понятием «мультипредметный информационный ресурс».

Формальное определение мультипредметного информационного ресурса

На качественном уровне определение мультипредметного ресурса (МПР) таково: МПР – это информационный ресурс, который субъективно полезен, в приблизительно равной степени, для более одной категории пользователей, при этом его полезность для всех прочих категорий существенно ниже.

Пусть $U = \{u_i\}$ - множество категорий пользователей, $R = \{r_i\}$ - множество информационных ресурсов. Определим на их декартовом произведении некоторую функцию, характеризующую полезность ресурса для соответствующей категории пользователей:

$$f : R \times U \rightarrow \mathfrak{R}, \text{ где } \mathfrak{R} - \text{множество вещественных чисел.}$$

Определим понятие «проблемно-ориентированный информационный ресурс» от обратного. Проблемно-ориентированным будем называть ресурс r , НЕ удовлетворяющий условию «равнополезности» для всех категорий пользователей:

$$\forall u_i, u_j \in U', f(r, u_i) \approx f(r, u_j).$$

Монопредметным информационным ресурсом будем называть ресурс r , удовлетворяющий условию:

$$\exists u_i \in U : f(r, u_i) \gg f(r, u_j), \forall u_j \in U, j \neq i.$$

Мультипредметным ресурсом будем называть информационный ресурс, удовлетворяющий условию:

$$\exists U' \subseteq U : \forall u_i, u_j \in U', f(r, u_i) \approx f(r, u_j) \wedge f(r, u_i) \gg f(r, u_k), \forall u_k \in U \setminus U'.$$

Знак приближенного равенства функций может быть определен следующим образом:

$$f(r, u_i) \approx f(r, u_j) \Leftrightarrow |f(r, u_i) - f(r, u_j)| \leq d,$$

где d – константа, задающая порог идентичности субъективной полезности ресурса.

Очевидно, что при данных определениях монопредметные и мультипредметные ресурсы относятся к категории проблемно-ориентированных.

Модель категории пользователей

В работе [3] предложен подход к определению категории пользователей, основанный на эмпирическом наблюдении о различиях в способах классификации одних и тех же понятий людьми с различными ментальными стереотипами. Формально это различие описывается для каждой категории пользователей множеством идентифицирующих атрибутов понятия предметной области.

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

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

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

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

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:

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

Модель навигационного интерфейса

Назначением пользовательского интерфейса ресурса является обеспечение доступа человека к информационным элементам, образующим ресурс. Такой доступ в современных ИС реализуется двумя путями:

1) С помощью поискового механизма, позволяющего выбрать информационные элементы, удовлетворяющие заданным пользователем критериям. Будем называть интерфейс такого типа «поисковым».

2) С помощью некоторой навигационной структуры, реализующей функцию каталога. Назовем такой тип интерфейса «навигационным».

Навигационный интерфейс, как правило, представляет собой некоторую иерархическую структуру, группирующую все множество информационных элементов системы в разделы. Используя подобную структуру, пользователь может удовлетворять собственные информационные потребности, которые слабо определены («меня интересует что-либо похожее на...») или не определены вовсе («какая вообще информация доступна в пределах данного ресурса?»). Опыт использования крупных информационных систем показывает, что чем в большей степени навигационная структура интерфейса соответствует структуре понятий ментальной модели пользователя, тем выше субъективное качество навигации, определяемое затрачиваемым временем на поиск интересующей пользователя информации и релевантностью его результатов [4].

В работе [3] авторами предложен формальный критерий качества навигационной структуры интерфейса. Критерий основан на предположении о

том, что чем более значимый для пользователя атрибут используется в качестве классификационного признака для формирования разделов информационных элементов на некотором уровне иерархии навигационной структуры, тем с большей вероятностью пользователь выберет раздел, содержащий интересующий его информационный элемент. В данной работе мы предложим уточненный критерий, учитывающий объективные ограничения размеров разделов навигационной структуры.

Введем следующие обозначения:

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

G_i^l - i -й раздел информационных элементов l -го уровня навигационной структуры;

$S^l = \max_i |G_i^l|$ - размер максимального (в количестве информационных элементов) раздела l -го уровня;

N^l - общее количество информационных элементов в разделах l -го уровня;

$p : \Gamma^l \rightarrow [0,1]$ - функция, задающая числовую оценку степени уверенности пользователя в принадлежности некоторого информационного элемента соответствующей группе. Эта уверенность тем выше, чем более точно представляет пользователь потенциальное содержимое группы. В соответствии со сделанным ранее предположением, степень уверенности зависит от используемого при построении Γ^l классификационного признака (идентифицирующего атрибута). Тогда, для некоторого фиксированного уровня навигационной структуры, эта функция может быть переопределена следующим образом:

$$p : A(c) \rightarrow [0,1].$$

Равенство функции нулю означает, что пользователь не может строить каких-либо предположений о содержимом разделов соответствующего уровня. Равенство единице, наоборот, подразумевает полную уверенность пользователя в том, что искомый информационный элемент принадлежит тому или иному разделу структуры. Тогда, оценка времени, требуемого для доступа к искомому информационному элементу, в рамках навигационной структуры на l -м уровне для данных предельных случаев будет равна:

$$t^l = O(N^l) \text{ при } p(a) = 0;$$

$$t^l = O(S^l) \text{ при } p(a) = 1.$$

Таким образом, ожидаемое время доступа транзитивно зависит от используемого для классификации атрибута и является убывающей функцией от p . Если предположить, что эта зависимость линейна, то:

$$t^l(a) = O(N^l - p(a)(N^l - S^l(a))).$$

Тогда оптимальная навигационная структура интерфейса есть решение следующей задачи с ограничениями:

$$\min_s \sum_{l=1}^{\hat{l}(s)} (N^l - p(a^l)(N^l - S^l(a^l))), \quad M^l \leq K, \hat{l}(s) \leq K'. \quad (1)$$

Здесь $\hat{l}(s)$ - количество уровней в навигационной структуре s ; M^l - количество разделов структуры на уровне l ; a^l - идентификационный атрибут, используемый для построения структуры на уровне l ; 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.

Утверждение.

Для любых $a_i, a_j \in A^u(c)$ таких, что $i \leq j$ справедливо неравенство:

$$t^l(a_i) + t^{l+1}(a_j) \leq t^l(a_j) + t^{l+1}(a_i).$$

То есть, если для формирования навигационной структуры на верхних уровнях используются более значимые атрибуты, нежели на нижних, то ожидаемое время доступа будет не больше, чем в противном случае.

Справедливость данного утверждения следует из того факта, что

$$S^{l+1} \leq N^l \text{ и } p(a_i) \geq p(a_j) \text{ при } i \leq j, a_i, a_j \in A^u(c).$$

Опираясь на данное утверждение можно предложить технологию формирования навигационного интерфейса, близкого к оптимальному в смысле критерия (1), путем последовательного разбиения исходного множества информационных элементов на разделы с использованием убывающих по значимости идентификационных атрибутов.

Технология формирования навигационного интерфейса мультипредметной ИС

Рассматриваемая технология предназначена для использования в интеллектуализированных мультипредметных информационных системах, имеющих обобщенную структуру, представленную на рис.1 [5].

Исходной информацией для формирования навигационного интерфейса, обладающего свойством когнитивности, являются формализованные модели ментальных стереотипов пользователя (ФММ) и модель предметной области (СМПО). Данные модели формируются в результате семантического индексирования и атрибутирования вновь поступающих в систему информационных элементов (документов) и мониторинга активности пользователя в отношении поиска и использования содержащейся в них информации. Ядра моделей представляют собой взвешенные семантические сети.

На начальном этапе синтеза навигационной структуры осуществляется определение информационной потребности пользователя, которая формально представляется некоторым множеством концептов (понятий предметной области).

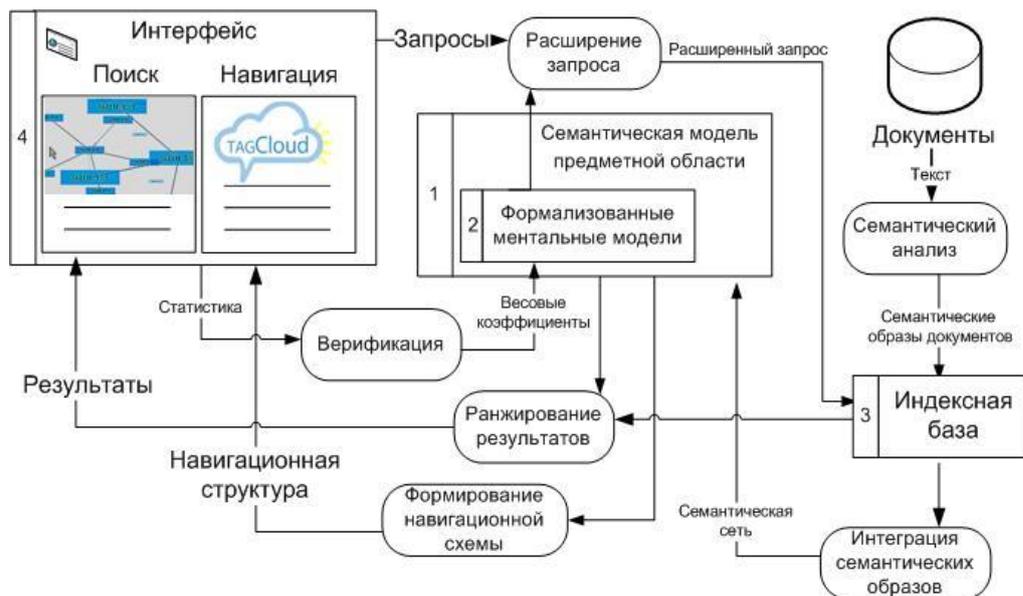


Рис. 1. Обобщенная структура мультипредметной ИС

Информационная потребность может быть сформулирована пользователем явно, в виде поискового запроса. В этом случае осуществляется выделение из запроса ключевых понятий, которые используются далее для формирования структуры разделов навигационного интерфейса МПИС. Если же поисковый запрос пользователем не представлен, то формирование информационной потребности осуществляется на основании ФММ пользователя, если пользователь идентифицирован, или на основании СМПО, если идентификация пользователя не производилась. В этих случаях во множество концептов, составляющих информационную потребность пользователя, включаются понятия из соответствующих моделей (ФММ или СМПО), имеющие наибольший вес. Далее для каждого концепта, образующего текущую информационную потребность, с учетом ментальных стереотипов пользователя осуществляется синтез навигационной структуры, удовлетворяющей критерию (1). Диаграмма последовательности, описывающая основные процессы, задействованные в процедуре синтеза интерфейса, представлена на рис. 2.

Непосредственно алгоритм синтеза навигационного интерфейса представлен на рис. 3. На каждой итерации алгоритма осуществляется формирование одного уровня навигационной структуры до тех пор, пока не будет достигнута заданная глубина структуры (константа K'). Процедура начинается с формирования интерфейса на базе наиболее значимого идентификационного атрибута. Если в результате максимальный раздел полученной структуры оказывается слишком велик, то осуществляется переход к следующему по значимости идентификационному атрибуту. Если в результате работы алгоритма не удастся получить «хорошую» в смысле размера максимального раздела структуру, то осуществляется возврат к наиболее значимому идентификационному атрибуту и разбиение очередного уровня осуществляется на его основе.



Рис. 2. Диаграмма последовательности процесса синтеза интерфейса

Кроме контроля глубины навигационной структуры и размера разделов, в рамках алгоритма осуществляется контроль количества разделов одного уровня. Если это количество превышает заданный лимит (когнитивная константа K), то осуществляется агрегация нескольких разделов в один. Агрегация производится таким образом, чтобы полученные в результате разделы имели схожие размеры. Для решения этой задачи используются модификации алгоритмов решения задачи о ранце [6].

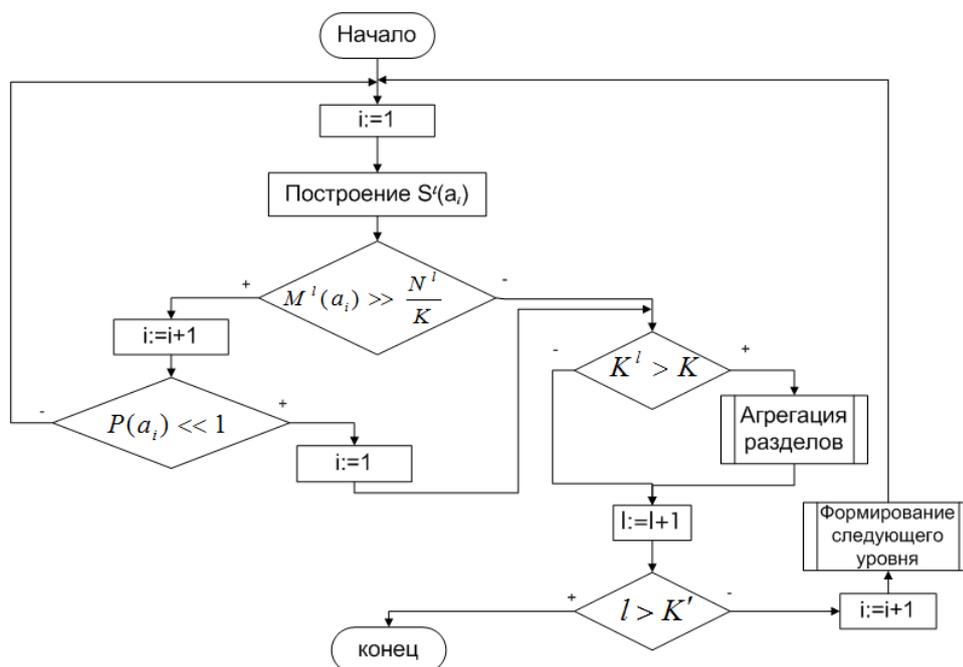


Рис. 3. Алгоритм формирования навигационной структуры

Заключение

Предложенная в данной работе технология синтеза навигационных структур пользовательских интерфейсов, адаптированных к ментальным стереотипам пользователей, позволяет эффективно организовывать функционирование мультипредметных информационных систем, основанных на знаниях. Формирование навигационной структуры, исходя из принципа наибольшего соответствия ментальной модели пользователя, обеспечивает высокие когнитивные свойства интерфейса.

Литература

1. Диковицкий, В.В. 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.-Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. -2011. -С.63-73.
2. Раскин, Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Д. Раскин. –Пер. с англ.–СПб:Символ-Плюс, 2003. –272с.
3. Шишаев, М.Г. Формализация задачи построения когнитивных пользовательских интерфейсов мультипредметных информационных ресурсов / М.Г. Шишаев, П.А. Ломов, В.В. Диковицкий // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып.4. -4/2013(17). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. –С.90-97.
4. Коробейников, П.А. Исследование семантической структуры навигационных интерфейсов типовых веб-ресурсов / П.А. Коробейников, М.Г. Шишаев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 4. -4/2013(17). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. –С.98-102.
5. Диковицкий, В.В. Технология формирования адаптивных пользовательских интерфейсов для мультипредметных информационных систем промышленных предприятий / В.В. Диковицкий, М.Г. Шишаев // Информационные ресурсы России. -2014. -№ 1(137). -С.23–26.
6. Бурков, В.Н. Прикладные задачи теории графов / В.Н. Бурков, И.А. Горгидзе, С.Е. Ловецкий. - Тбилиси: ВЦ АН ГССР. - 1974. - 232с.
7. 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 // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. -2012. - Т.62. -С.40-47.

Сведения об авторах

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

Диковицкий Владимир Витальевич - младший научный сотрудник.
e-mail: dikovitsky@rambler.ru
Vladimir V. Dikovitsky – junior researcher

П.А. Ломов^{1,2}, М.Г. Шишаев^{1,2}, Е.Ю. Данилов¹

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ ФРЕЙМОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ*

Аннотация

В данной работе предлагается технология визуализации онтологий, ориентированная в первую очередь на облегчение получения представленных в них знаний экспертом. Для этого предлагается формировать для понятий онтологии специальные структуры – когнитивные фреймы. Каждый когнитивный фрейм включает специальным образом сформированные фрагмент онтологии и соответствующий ему визуальный образ. Ожидается, что использование такого способа визуализации позволит упростить передачу онтологических знаний пользователю. В завершении рассмотрена программная реализация технологии в виде плагина для редактора онтологий Protege.

Ключевые слова:

визуализация онтологии, семантическая сеть, осмысление онтологии, когнитивный фрейм.

P.A. Lomov, M.G. Shishaeu, E.Yu. Danilov

VISUALIZATION OF ONTOLOGIES ON THE BASIS OF COGNITIVE FRAMES FOR KNOWLEDGE TRANSMISSION

Abstract

In this work the ontologies visualization technology, focused first of all on simplification of getting knowledge from them by the expert is offered. For this purpose it is proposed to form for concepts of ontology special structures – cognitive frames. Each cognitive frame includes the build in a special way fragment of ontology and the visual image, corresponding to it. It is expected that showing cognitive frames for a concept during visualization instead of just showing any terms linked with it will be more useful for presenting of the concept's meaning. In the end of the paper we presented plugin for ontology editor Protégé, which implements that technology.

Keywords:

ontology visualization, semantic web, ontology comprehension, cognitive frame.

Введение

Визуализация онтологий является важным аспектом их практического использования. Качественная визуализация обеспечивает понимание экспертами онтологии или ее фрагментов (ontology comprehension) [1] в ходе решения различных задач инженерии знаний. Эффективность того или иного подхода к визуализации онтологии существенно зависит от решаемой задачи.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-07-01016 «Методы динамического синтеза когнитивных интерфейсов мультипредметных информационных систем»).

К одной из задач, требующих представления онтологии в виде некоторого визуального образа, относится осмысление онтологии [2]. В результате ее решения пользователь должен понять общую структуру онтологии, оставив за пределами внимания несущественные детали. Такая задача обычно возникает при выборе онтологии для повторно использования. В этом случае процесс осмысления позволяет пользователю принять решение о том, подходит ли, в целом, данная онтология или ее фрагмент для применения в его приложении. Технологии и программные средства, ориентированные на решение данной задачи, представлены в работах [2, 3-5]. Их отличительными чертами является наличие инструментов для построения обзорного представления онтологии, зуммирования и фильтрации отображаемых элементов.

В контексте визуализации формальных онтологий важной задачей также является визуализация результатов логического вывода. Ее суть заключается в создании визуального представления, способного проиллюстрировать вывод логических утверждений, представить объяснения результатов вывода [1, 6, 7]. Благодаря такому представлению разработчик может более детально понять онтологию, а также быстро найти и скорректировать проблемные аксиомы, приводящие к семантическим конфликтам.

Традиционно, в рамках компьютерных наук онтология используется в основном как средство автоматизированной компьютерной обработки знаний. Однако сегодня объем формализованных знаний, заключенных в памяти компьютера, становится сопоставим с познаниями человека. Это открывает возможности и порождает проблему эффективной передачи заключенных в онтологии знаний пользователю или эксперту. В этом случае для визуализации наиболее важными становятся когнитивные свойства онтологии, определяющие насколько просто и точно она может быть интерпретирована экспертом для получения смысла того или иного понятия. Рассматриваемая в данной работе технология ориентирована на эффективную передачу эксперту знаний, содержащихся в онтологии, в виде адаптированных к интерпретации визуальных образов.

В качестве основы предлагаемого способа визуализации предлагается использовать когнитивный фрейм. Под когнитивным фреймом, в общем случае, понимается визуализированный фрагмент онтологии, позволяющий адекватно (эффективно) передать человеку (эксперту) знания о некотором целевом понятии. Адекватность в данном случае подразумевает быструю и достаточно точную для решаемой задачи интерпретацию смысла описываемого понятия в контексте ментальной модели эксперта. По своей функции когнитивный фрейм близок к понятию «точка зрения» (viewpoint) [8], однако в отличие от последнего он включает помимо набора фактов о понятии еще и соответствующий ему визуальный образ. Требование адекватной передачи когнитивным фреймом знаний эксперту естественным образом порождает необходимость учета при его формировании психологических особенностей человека, общих принципов структурирования им информации, а также некоторой общей понятийной базы, единой для всех прикладных онтологий.

В соответствии с принятым определением, когнитивный фрейм имеет две ключевые составляющие – содержимое, соответствующее онтологическому контексту целевого понятия, и визуальный образ, предъявляемый эксперту. Первый компонент дает ответ на вопрос что требуется визуализировать для

эффективной трансляции знаний о понятии, а второй – каким образом это сделать. Предлагаемый в работе подход к человеко-машинной трансляции знаний основан на том наблюдении, что общие закономерности восприятия визуальной информации и структурирования знаний человеком отражаются как в его психологических свойствах, так и в самом описании понятия в онтологии. Первые проявляются в известных принципах гештальтпсихологии [9] и эффекте перцептивных стереотипов [10]. Вторые – в том, что при формировании онтологии понятия описываются экспертом с явным или неявным использованием инвариантных к предметным областям отношений и мета-понятий, источниками которых являются онтологии верхнего уровня. Наша гипотеза заключается в том, что следование данным законам в процессе формирования визуализации позволит осуществлять успешную передачу знаний любой онтологии человеку.

В данной работе мы рассмотрим только вопрос формирования содержимого когнитивных фреймов на основе общих отношений, таких как «таксономия», «партономия» и «зависимость». В качестве универсального визуального образа на данном этапе исследования используется графовая структура. Вопрос генерации более сложных визуальных образов предполагается рассмотреть в дальнейшем.

Предыдущие исследования

В предыдущей работе [11] был рассмотрен вопрос автоматическом формировании для OWL-онтологии ее упрощенной для визуализации модификации – онтологии пользовательского представления (UPO), описанной языком модели SKOS[12]. Модель SKOS является более простой, чем модель OWL. В процессе формирования UPO аксиомы исходной OWL-онтологии представлялись в виде совокупностей элементов модели SKOS: концептов, отношений и коллекций. Таким образом, UPO может рассматривать в виде графовой структуры. В качестве узлов такой структуры будут выступать понятия (concept), соответствующие OWL-классам исходной онтологии. Дуги будут представлять отношения между OWL-классами.

Следующая работа [13] была посвящена визуализации UPO, соответствующей некоторой прикладной онтологии на основе когнитивных фреймов. Было дано общее определение когнитивного фрейма:

$$KF(t) = \langle CT, VS \rangle, \quad (1)$$

где t - целевое понятие когнитивного фрейма, CT – содержание фрейма – множество дуг вида «понятие-отношение-понятие», отражающих смысловое значение понятия, VS – визуальный образ, формируемый на основе содержания. В работе были также определены требования к когнитивному фрейму:

- компактность – фрейм должен включать не более 7-9 элементов (Miller's "magical number");
- полнота - фрейм должен передавать всю информацию о понятии;
- привычность - визуальный образ фрейма должен быть знаком пользователю или фрейм должен представлять понятие с известной пользователю точки зрения.

Наряду с этим в работе был рассмотрен вопрос генерации когнитивных фреймов на основе инвариантных отношений, таких как «таксономия», «партономия» и «зависимость». Далее данный вид фреймов будем называть структурными когнитивными фреймами. Для этого были предложены алгоритмы формирования их содержимого на основе окрестностей целевого понятия. Под n -окрестностью некоторого понятия понимается множество понятий, связанных с ним одним видом отношений через $n-1$ понятие. Например, понятие t (рис. 1) имеет 2 окрестности по отношению A .

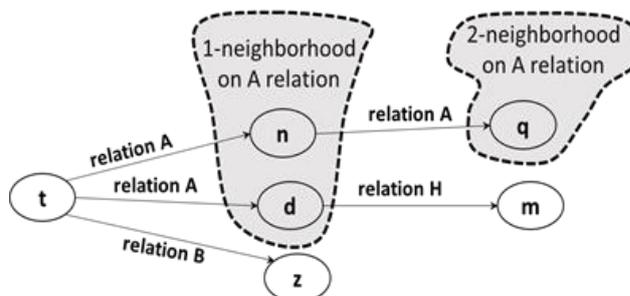


Рис. 1. Окрестности понятия t

При формировании содержания структурного когнитивного фрейма в него на каждом шаге включались понятия одной окрестности. Формирование заканчивалось по достижении порогового значения числа понятий. Заметим, что при этом для удовлетворения требования полноты в содержание всегда добавлялись все понятия окрестности, а не их часть. Наряду с этим при определении окрестностей учитывались правила избегания парадоксов транзитивности [14].

Улучшенная процедура формирования структурных когнитивных фреймов

Процедура формирования содержимого структурных когнитивных фреймов на основе окрестностей учитывает только одно направление отношений. Это приводит к тому, что структурный когнитивный фрейм для некоторого понятия, может потенциально представить его соседей с более высоких или более низких уровней иерархии. Например, партономический когнитивный фрейм для понятия t будет представлять его понятия-части, а также понятия, частям которых оно является.

При таком способе формирования остаются непредставленными понятия, находящиеся на том же уровне иерархии, что и целевое. Это не позволяет пользователю рассмотреть его в сравнительном аспекте. Например, если понятие t является частью понятия n , то имеет смысл представить и другие понятия-части n . Это позволит при отображении указать на отличительные черты понятия t по сравнению с другими понятиями, играющими для n ту же роль (рис. 2).

Для решения данной проблемы и учета понятий того же уровня, что и целевое далее предлагается модифицированная процедура формирования содержания структурных когнитивных фреймов.

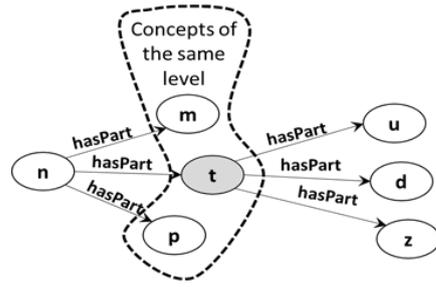


Рис. 2. Понятия одного уровня иерархии с t по отношению «hasPart»

Введем понятие фронтальной $FN_k^f(t)$ (тыловой $BN_k^f(t)$) n -окрестности понятия t по отношению f , как множества понятий, выступающих объектами (субъектами) в отношениях с понятиями фронтальной или тыловой $(n-1)$ -окрестности. При этом фронтальная и тыловая 0 -окрестность по любому виду отношений включает только само понятие t (рис. 3).

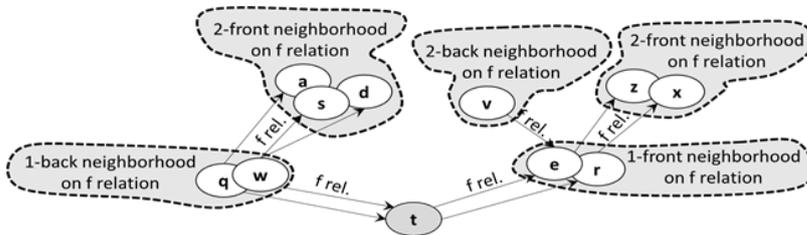


Рис. 3. Пример фронтальных и тыловых окрестностей понятия t

Модифицированная процедура формирования содержания структурных когнитивных фреймов для целевого понятия t состоит в последовательном формировании фронтальной и тыловой окрестностей и добавлении их к содержимому фрейма до достижения порогового значения числа понятий. Общая схема процедуры представлена на рис. 4.

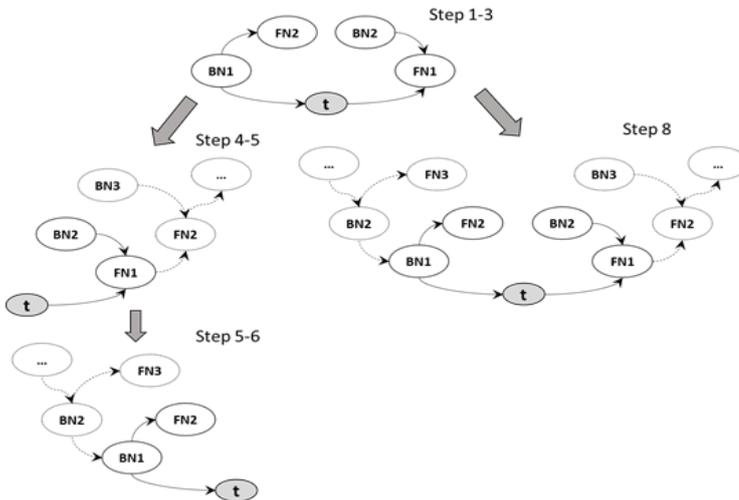


Рис. 4. Общая схема процедуры формирования содержимого структурных когнитивных фреймов

Модифицированная процедура выглядит следующим образом:

1. Строим $FN_1^f(t)$ и на ее основе строим тыловую окрестность $BN_2^f(t)$.
2. Строим $BN_1^f(t)$ и на ее основе строим фронтальную окрестность $FN_2^f(t)$;
3. Проверяем, достигло ли общее число понятий в окрестностях, полученных на шаге 1 и 2 порогового значения. Если достигло, переходим к шагу 4. Если нет, то добавляем понятия из сформированных окрестностей к содержимому фрейма, $n=1$ и переходим к шагу 8.
4. Создаем отдельный фрейм и добавляем в его содержимое окрестности, полученные на шаге 1. $n=1$ и переходим к шагу 5.
5. Строим $FN_{k+1}^f(t)$ на основе $FN_k^f(t)$. В случае не превышения порогового значения, добавляем $FN_{k+1}^f(t)$ к содержимому фрейма. Далее на основе добавленной $FN_{k+1}^f(t)$ строим $BN_{k+2}^f(t)$ и также пытаемся добавить к содержимому. Если на данном шаге было достигнуто пороговое значение, то завершаем построение и переходим к шагу 6. Если нет, то $k=k+1$ и повторяем шаг 5.
6. Создаем отдельный фрейм и добавляем в его содержимое окрестностей, полученные на шаге 2. $k=1$ и переходим к шагу 7.
7. Строим $BN_{k+1}^f(t)$ на основе $BN_k^f(t)$. В случае не превышения порогового значения, добавляем $BN_{k+1}^f(t)$ к содержимому фрейма. Далее на основе добавленной $BN_{k+1}^f(t)$ строим $FN_{k+2}^f(t)$ и также пытаемся добавить к содержимому. Если на данном шаге было достигнуто пороговое значение, то завершаем процедуру. Если нет, то $k=k+1$ и повторяем шаг 7.
8. На основе созданной на предыдущем шаге $FN_k^f(t)$ строим следующую фронтальную окрестность $FN_{k+1}^f(t)$ и в случае не превышения порогового значения, добавляем ее к содержимому. Далее на основе $FN_{k+1}^f(t)$ строим $BN_{k+2}^f(t)$ и также пытаемся добавить к содержимому. На основе, созданной, на предыдущем шаге $BN_k^f(t)$ строим следующую тыловую окрестность $BN_{k+1}^f(t)$ и в случае не превышения порогового значения, добавляем ее к содержимому. Далее на основе $BN_{k+1}^f(t)$ строим $FN_{k+2}^f(t)$ и также пытаемся добавить к содержимому. Если на данном шаге было достигнуто пороговое значение, то завершаем процедуру. Если нет, то $k=k+1$ и повторяем шаг 8.

В ходе данной процедуры на шагах 1-3 формируется основа содержимого фрейма. Далее в зависимости от заполнения происходит либо разделение ее на отдельные сегменты для двух разных фреймов, либо ее дальнейшее заполнение. Заметим, что при формировании окрестностей соблюдаются правила избегания парадоксов транзитивности, рассмотренных в работе [13].

Оценка технологии построения когнитивных фреймов

Оценка предлагаемой технологии проводилась на основе установления сходства автоматически сформированных когнитивных фреймов с наборами фактов о понятиях, отобранных экспертами предметной области из прикладной онтологии.

Обоснование такого способа оценки состоит в том, что наличие некоторого фрагмента содержания когнитивного фрейма в наборе фактов, сформированных человеком, говорит о том, что он похожим образом представляет себе понятие. Таким образом, данная оценка показывает насколько некоторый когнитивный фрейм коррелирует со способами структурирования человеком информации об объектах действительности, и тем самым является показателем его когнитивности.

Для проведения эксперимента были выбраны 5 понятий из онтологии сетевого оборудования, разработанной на основе онтологии верхнего уровня DOLCE [15]. Для каждого понятия с использованной модифицированной процедуры были сформированы структурные когнитивные фреймы.

Для данных понятий 5 экспертам было предложено отобрать из онтологии факты, относящиеся к каждому из понятий, и структурировать их по своему усмотрению. Под фактом в данном случае понимается тройка «понятие-свойство-понятие», представляющее ребро графа. Таким образом, для каждого понятия экспертом были сформированы несколько наборов фактов. Далее производилось сравнение наборов и когнитивных фреймов. Для каждого фрейма и набора, соответствующих одному понятию, определялась число одинаковых фактов. Фрейм и набор фактов с наибольшей оценкой считались соответствующими. У фрейма подсчитывалась оценка его когерентности и избыточности по отношению к набору фактов, как доля одинаковых и различных для них фактов среди общего числа фактов во фрейме.

Усредненные результаты представлены в таблице.

Оценка когерентности (Coherency) и избыточности (Redundancy) когнитивных фреймов

Concept/Cognitive frames	Coherency	Redundancy
<i>Transport layer</i>		
Taxonomy frame	0.55	0.45
Partonomy frame	0.27	0.73
Dependency frame	0.48	0.52
<i>Network router</i>		
Taxonomy frame	0.55	0.45
Partonomy frame	0.77	0.23
Dependency frame	0.75	0.25
<i>Routing protocol OSPF</i>		
Taxonomy frame	0.67	0.33
Partonomy frame	0.60	0.4
Dependency frame	0.50	0.5
<i>Media access control task</i>		
Taxonomy frame	0.77	0.23
Partonomy frame	0.75	0.25
Dependency frame	0.9	0.09
<i>Network interface</i>		
Taxonomy frame	0.69	0.31
Partonomy frame	0.43	0.57
Dependency frame	0.6	0.4

Заметим, что проявление высокой избыточности вызвано, тем что, не все эксперты включили факты, отражающие понятия одного уровня иерархии с целевым. Особенно это касается иерархий по отношению таксономии и партономии. Однако после рассмотрения построенных фреймов эксперты отметили, что это стоило сделать для более полной передачи смысла целевого понятия. Например, это касается партономического фрейма для понятия “*Transport level*” и таксономического фрейма для “*Network router*” (рис. 5).

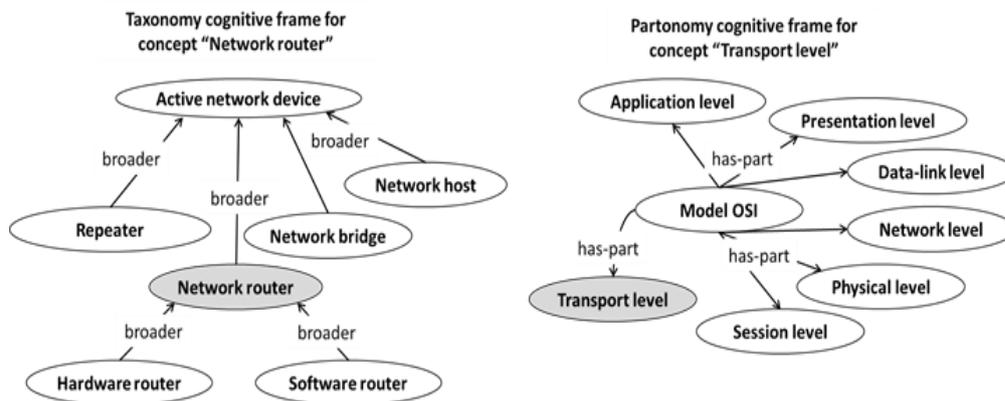


Рис. 5. Пример таксономического и партономического когнитивных фреймов

Что касается фреймов по отношению зависимости, то в большинстве случаев ему соответствовал набор фактов, неподходящий к другим типам структурных фреймов. Это вызвано большей спецификой отношения зависимости, по сравнению с таксономией и партономией. В этой связи эксперты объединили в один набор факты, соответствующие данному отношению, вместе с фактами, соответствующими специфическим отношениям предметной области. Это обусловило в некоторых случаях низкую оценку когерентности.

В целом результаты эксперимента показывают достаточную близость содержания фреймов и точек зрения, представленных наборами фактов, сформированных экспертами. Это позволяет судить о правильности процедуры формирования содержимого, позволяющего обеспечить привычность и компактность структурных когнитивных фреймов.

Описанием практической реализации

Практическая реализация данной технологии была выполнена в виде программного модуля редактора онтологий Protégé. Для работы с программным модулем необходимо осуществить его установку. Для этого jar-файл программного модуля скопировать в папку «Protege/plugins», запустить Protege и загрузить в нем онтологию.

После загрузки онтологии на экране появятся две вкладки - одна включает в себя список с OWL классами, другая - список с когнитивными фреймами.

В визуализации иерархии OWL онтологии для навигации по ней используется список классов. При выборе OWL класса из списка камера

автоматически сфокусируется на нем. При наведении курсора мыши на элемент отобразятся связанные с ним элементы.

Для построения визуальных образов когнитивных фреймов необходимо нажать на кнопку “Сформировать список с КФ” и их список отобразится на панели.

Для отображения визуализации конкретного фрейма, необходимо щелкнуть на нужный тип фрейма (таксономический, партономический или специальный) и тип визуализации (Prefuse, Graph Stream, Cajun).

Управление визуализацией различных типов

В визуализации, построенной на библиотеке Prefuse, используется аналогичное управление, что и в начальной визуализации OWL онтологии. Отличие состоит в том, что в визуализации выделяется синим цветом понятие, смысл которого передает фрейм (целевое понятие).

В Graph Stream визуализации для перемещения камеры используется стрелки на клавиатуре, а кнопки “Page Up” и “Page Down” для приближения и отдаления камеры. При нажатии на визуальный элемент на панели, расположенные справа от визуализации, отобразится информация о нем. В данной визуализации целевое понятие фрейма выделяется желтым цветом.

В визуализации, построенной на библиотеке Cajun, для свободного перемещения и приближения/отдаления камеры используется мышь или элементы управления на панели инструментов. На ней также находятся кнопки для выбора различных расположений графических элементов в визуализации.

Рассмотрим пример работы визуализации на примере понятия “маршрутизатор” из тестовой онтологии сетевых технологий. На рис. 6 - 8 представлен пример визуализации таксономического, партономического когнитивного фрейма и когнитивного фрейма по зависимости построенный с использованием визуальной библиотеки Graph Stream. По этим визуализациям можно легко и быстро увидеть связанные понятия по тем или иным отношениям с понятием “маршрутизатор”.



Рис. 6. Таксономический КФ для понятия “Маршрутизатор” (Network-router)

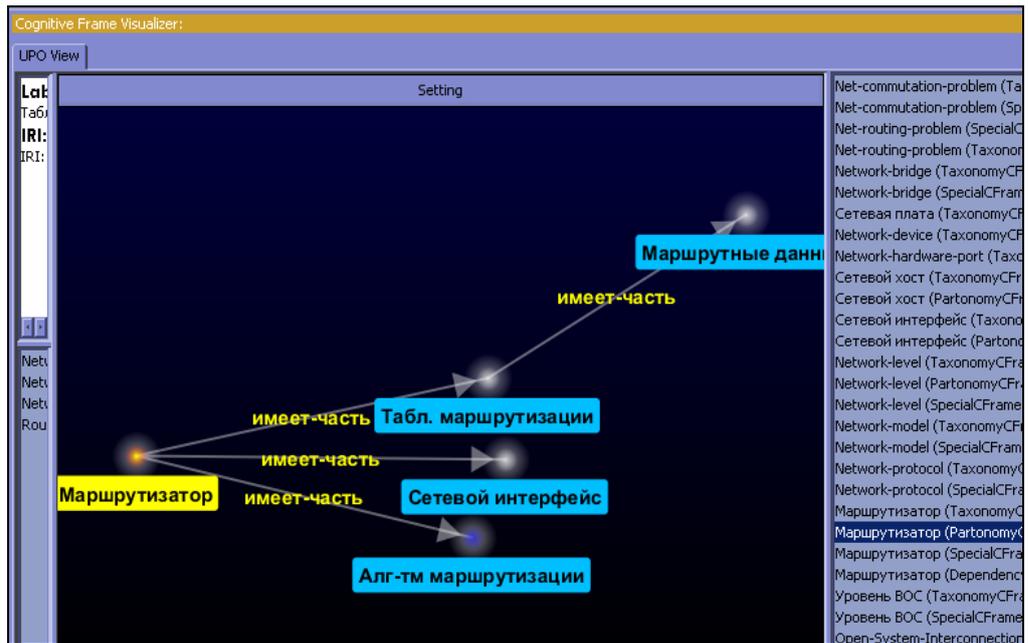


Рис. 7. Партономический КФ для понятия “Маршрутизатор” (Network-router)

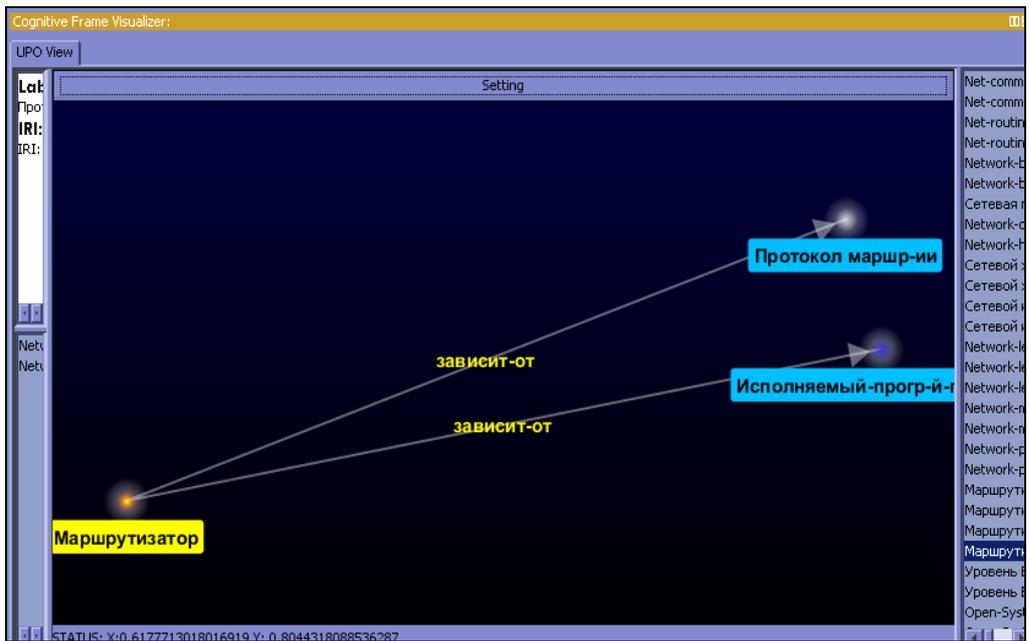


Рис. 8. КФ по зависимости для понятия “Маршрутизатор” (Network-router)

Заключение

В данной статье было рассмотрено определение когнитивного фрейма, используемого как средство визуального представления понятий онтологии. Его компонентами являются фрагмент онтологии, определяющий смысл некоторого понятия, а также визуальный образ, облегчающий интерпретацию смысла данного понятия. На следующих этапах исследования предполагается рассмотреть различные аспекты формирования визуального образа с учетом принципов когнитивной компьютерной графики [16] и гештальтпсихологии [9]. Наряду с этим планируется проанализировать возможности его синтеза с использованием общепринятых нотаций, таких как IDEF, UML и других.

Представленная процедура формирования позволяет сегментировать онтологию для последующего представления в виде когнитивных фреймов. Основой для формирования таких сегментов является наличие в онтологии разных иерархий понятий по инвариантным к предметным областям отношениям, определенным в онтологиях верхнего уровня. Использование инвариантных отношений, а также рассмотрение понятий на разных уровнях иерархий позволяет сформировать содержимое структурного когнитивного фрейма, удовлетворяющее требованиям компактности, полноты и привычности, для понятий любой онтологии. В дальнейшем предполагается определить способы формирования содержимого, основанные на анализе отношений целевого понятия как наследника понятий онтологии верхнего уровня.

Важным аспектом будущих исследований является создание системы навигации по набору когнитивных фреймов. Это позволит использовать предлагаемую технологию визуализации онтологии, как основу интерфейса информационных систем для обучения и обмена знаниями между экспертами/

Литература

1. Bergh, J.R. "Ontology comprehension" / J.R. Bergh // University of Stellenbosch, Master Thesis 2010.
2. A Novel Approach to Visualizing and Navigating Ontologies, / E. Motta and other // Lecture Notes in Computer Science Volume 7031, 2011. –P.470-486.
3. Plaisant, C. Spacetime Supporting Exploration in Large Node Link Tree / C. Plaisant, J. Grosjean, B. Bederson // Design Evolution and Empirical Evaluation. In Proc. of the Intl. Symposium on Information Visualization, (2002). -P.57-64.
4. Wang, T.D. CropCircles Topology Sensitive Visualization of OWL Class Hierarchies / T.D. Wang, B. Parsia // Lecture Notes in Computer Science, Volume 4273, 2006. – P.695-708.
5. Shneiderman, B. Tree Visualization with Tree-Maps A 2d Space-Filling Approach / B. Shneiderman // ACM Trans. Graph., 1992. -11(1). -P.92-99.
6. Bauer, J. Model exploration to support understanding of ontologies. / J. Bauer // Master's thesis, Technische Universität Dresden, 2009.
7. Liebig, T. OntoTrack Combining browsing and editing with reasoning and explaining for OWL-lite ontologies / T. Liebig, O. Noppens // In Proceedings of the 3rd International Semantic Web Conference ISWC 2004. Hiroshima, Japan. –P.8–11.

8. Acker, L. Extracting viewpoints from knowledge bases / L. Acker, B. Porter // In Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, 1994. –P.547-552.
9. Gavrilova, T.A. Evaluation of the cognitive ergonomics of ontologies on the basis of graph analysis / T.A. Gavrilova, V.A. Gorovoy, E.S. Bolotnikova // Scientific and Technical Information Processing, December 2010, Volume 37, Issue 6. – P.398-406.
10. Johnson-Laird, P.N. Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness / P.N. Johnson-Laird // Cambridge, VA: Harvard Univ. Press, 1983. -246 p.
11. Lomov, P.A. OWL-ontology transformation for visualization and use as a basis of the user interface / P.A. Lomov, M.G. Shishaev, V.V. Dikovitskiy // Scientific magazine “Design Ontology” - 2012. -Samara: Novaya Tehnika, 2012. -P.49-61. ISSN 2223-9537 (in Russian).
12. SKOS Simple Knowledge Organization System Reference, W3C Recommendation, 2009. <http://www.w3.org/TR/skos-reference>.
13. Lomov, P.A. Technology of Ontology Visualization Based on Cognitive Frames for Graphical User Interface, Communications in Computer and Information Science / P.A. Lomov, M.G. Shishaev // Springer. -Vol. 394, 2013. –P.54-68.
14. Winston, M. Taxonomy of Part-Whole Relations. / M. Winston, R. Chaffin, D. Herrmann // Cognitive Science, 1987, vol.11. -P.417-444.
15. WonderWeb / C. Masolo and other // Final Report. Deliverable D18, 2003. - 343p.
16. Averbukh, V.L. Toward formal definition of conception adequacy in visualization / V.L. Averbukh // Proc. 1997 IEEE Symp. on Visual Languages, Sept. 23-26, 1997. Isle of Capri, Italy. S.l.: IEEE Comput. Soc. -1997. -P.46-47.

Сведения об авторах

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

Ломов Павел Андреевич – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: lomov@iimm.ru
Pavel A. Lomov – Ph.D. (Tech. Sci.), research

Данилов Евгений Юрьевич - программист,
e-mail: daniloveugene@yandex.ru
Evgeniy Yu. Danilov – programmer

УДК 004.9

А.В. Вицентий

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

**РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМАХ ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ***

Аннотация

В работе рассматривается задача интеграции данных, знаний и сервисов, как одна из наиболее важных задач, решение которых должно обеспечиваться современными интеллектуальными системами информационно-аналитической поддержки управления сложными процессами и системами. На основе анализа современных решений в этой области делается выбор в пользу виртуальной интеграции.

Ключевые слова:

виртуальная интеграция, данные и сервисы, распределенные информационные системы, поддержка принятия решений, развитие Арктики.

A.V. Vicentiy

**THE VIRTUAL INTEGRATION OF HETEROGENEOUS AND DISTRIBUTION DATA,
KNOWLEDGES AND SERVICES MECHANISMS DEVELOPMENT FOR
DEVELOPMENT OF INTELLIGENT PROBLEM-ORIENTED SYSTEMS FOR
SPATIALLY ORGANIZED SYSTEMS AND PROCESSES INFORMATION AND
ANALYTICAL CONTROL SUPPORT**

Abstract

This paper considers the problem of data integration, knowledge and services as important part of modern intelligent systems for complex processes and systems information and analytical control support. Based on the analysis of modern solutions in this area, we made a choice in favor of virtual integration.

Keywords:

virtual integration, data and services, distributed information systems, decision support, Arctic development.

Введение

В последние годы происходит накопление огромных объемов неоднородных, распределенных информационных ресурсов (ИР), что обуславливает потребность совместного использования (интеграции) информационных компонентов и сервисов в различных применениях, а также их повторного использования и композиции для реализации интероперабельных информационных систем (ИС). Необходимость интеграции разнородных ИС, особенно в таких областях, как построение информационных систем поддержки регионального управления, обуславливает создание специальных методов и

* Работы выполнены в рамках Программы ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

технологий интеграции, использующих различные модели данных и осуществляемых с помощью различных процедур.

При решении задач построения проблемно-ориентированных интеллектуальных систем информационно-аналитической поддержки развития больших пространственно-распределенных объектов и территорий неизбежно встают вопросы, связанные с использованием различных механизмов интеграции разнородных данных и знаний. При этом, интеграция данных является одной из наиболее важных задач, решение которых должно обеспечиваться современными крупными информационно-аналитическими системами. На основе анализа существующих на сегодняшний день технологий интеграции данных и сервисов в работе предлагается использовать виртуальную интеграцию данных и сервисов, как наиболее перспективное решение.

Интероперабельность интегрируемых информационных систем

При решении задачи интеграции нескольких информационных систем часто приходится сталкиваться с проблемой значительной или полной ориентации некоторых из них на аппаратные средства и программное обеспечение определенного производителя или специфическую архитектуру. Такая ситуация порождает серьезную проблему, называемую в литературе проблемой "унаследованных систем" (legacy systems) [1], которая осложняется еще и тем, что часто производственные процессы не позволяют прекратить или приостановить использование морально устаревших систем, чтобы перевести их на новые технологии. При этом, например, осуществлять проектирование региональных информационных систем для информационно-аналитической поддержки задач развития Арктических регионов РФ без опоры на уже имеющиеся ИС практически невозможно. Унаследованные ИС и лежащие в их основе базы данных (БД) являются слишком ответственными и дорогими продуктами, чтобы можно было позволить себе их переделку при смене аппаратной платформы или даже системного программного обеспечения. Для этого программный продукт должен обладать свойствами легкой переносимости с одной аппаратно-программной платформы на другую. Другим свойством, которым должны обладать современные информационные системы является способность наращивания возможностей за счет использования дополнительно разработанных или уже существующих и подключаемых к ним программных компонентов.

Выполнение этих требований невозможно без обеспечения интероперабельности ИС. Под этим понимается способность ИС взаимодействовать друг с другом посредством соблюдения определенных правил или привлечения дополнительных программных средств, обеспечивающих возможность взаимодействия независимо разработанных программных модулей, подсистем или функционально завершенных программных систем [2]. Взаимодействие может проявляться как в виде обычного обмена информацией, так и в выполнении распределенных задач. Необходимость обеспечения интероперабельности возникает, например, при объединении процессов различных организаций в рамках региона, согласовании работы существующей отраслевой ИС с принятыми стандартными решениями и т.д.

Свойство интероперабельности проявляется также при интеграции нескольких ИС, включении в создаваемую систему БД ранее использованных хранилищ данных, разработке комплексных автоматизированных систем управления, построении сетей информационных хранилищ, а также во многих других случаях. Проблема обеспечения интероперабельности ИС имеет фундаментальный характер. Она актуальна как для унаследованных систем, которые требуется связать с вновь создаваемыми либо получить возможность использования их БД, так и для проектируемых хранилищ данных, в которых необходимо предусмотреть возможности реализации взаимодействия с другими ИС в перспективе, при изменении требований к ним.

Интероперабельность нужно рассматривать в структурном и семантическом аспектах. Структурный аспект интероперабельности систем означает способность к структурному согласованию сущностей систем. Семантический аспект означает возможность установления соответствия между смыслами единиц информационных систем. Существующие сегодня методы обеспечения интероперабельности касаются, главным образом, ее синтаксических (структурных) аспектов, т.е. направлены на согласование и преобразование структур данных за счет стандартизации их форматов и использования расширяемых метаязыков. Универсальные подходы к обеспечению интероперабельности ИС на семантическом уровне в настоящее время отсутствуют, и их разработка представляет собой актуальную научную задачу. Интеграционные технологии широко применимы в государственном и муниципальном управлении. В этом случае речь идет о взаимодействии государственных органов друг с другом в ходе предоставления электронных услуг гражданам и бизнесу. Компонентный состав обеспечения интероперабельности ИС в этом случае может быть представлен следующим образом: регламенты и стандарты, интеграционная платформа, модель данных, ИТ-инфраструктура, архитектура ИС.

Механизмы интеграции гетерогенных информационных ресурсов

Системы информационно-аналитической поддержки регионального управления и развития Арктических территорий РФ предназначены для обеспечения хозяйственной деятельности комплексной информацией об обстановке в регионе, предоставляемой информационными системами федеральных органов исполнительной власти и другими поставщиками ИР в рамках единого информационного пространства (ЕИП). Основными функциями проблемно-ориентированных систем являются информационное и технологическое взаимодействие ведомственных информационных систем, формирование и интеграция ИР, организация доступа к ним для изучения, освоения и использования арктических территорий, а также обмен данными с ведомственными и международными информационными системами. Предоставление информации осуществляется путем описания метаданных.

В настоящее время выделяются несколько видов интеграции (*I*) информационно-ориентированная (*Ii*), процессно-ориентированная (*Ip*) и сервисно-ориентированная (*Is*) виды интеграции. В зависимости от задачи, возможно использование только одного или комбинации нескольких из них ($I = \langle Ii, Ip, Is \rangle$), причем универсального решения в данном случае нет. Модель

интеграции каждого вида можно описать с помощью вовлеченных в нее компонентов информационных систем. Основными классами таких компонентов являются: множество интегрируемых ИС (*Num*), множество наборов данных (*Dat*), множество сервисов (*Sevr*), множество функций (*Func*), и множество процессов (*Proc*).

Для информационно-ориентированной интеграции ($I_i = \langle Num, Dat \rangle$) характерной областью применения является организация обмена информацией между несколькими ИС. Данный вид интеграции является наиболее простым и недорогим по сравнению с другими, т.к. данные просто передаются из одной системы в другую с помощью преобразования в необходимый формат. В процессе работы информационно-ориентированная интеграция использует обычно брокеры сообщений, связывающее программное обеспечение (*middleware*), серверы репликации БД и другие технологии, целью которых является распространение информации между несколькими системами. Чаще всего данный вид интеграции используется при интеграции корпоративных приложений (*Enterprise Application Integration, EAI*), например, в рамках одного ведомства или поставщика информации в ЕИП. Такой способ практически не используется для объединения существенно разных по структуре ИС.

Процессно-ориентированная интеграция ($I_p = \langle Num, Dat, Func, Proc \rangle$) подразумевает использование внутренних бизнес-процессов различных ИС, при этом необходимо создание дополнительной системы, связующей все остальные системы в единое целое. Такая интеграция применяется в сложных случаях, когда необходимо связать большое число разнородных ИС, используя при этом их функции. Сущность данного вида интеграции заключается в предоставлении возможности передачи произвольных данных из одной ИС в другую за счёт работы специализированного метапроцесса или системы, создаваемой поверх уже существующих систем. В практической деятельности механизмы процессно-ориентированной интеграции применяют только в случае доказанной необходимости и невозможности использования менее затратного подхода, т.к. требуют существенного преобразования внутренних функций интегрируемых ИС, что является дорогостоящим мероприятием. Такой вид интеграции плохо подходит для целей построения региональных информационных систем информационно-аналитической поддержки развития территорий.

Сервисно-ориентированная интеграция ($I_s = \langle Num, Dat, \langle Func, Serv \rangle$) применяется в случаях, когда имеет место необходимость в использовании, как данных, так и функций ИС. Здесь системы могут совместно использовать функции друг друга. Принцип такой интеграции заключается в использовании функций унаследованных систем, а не в создании новых сервисов, что соответствует целям построения проблемно-ориентированных интеллектуальных систем информационно-аналитической поддержки развития Арктических территорий и хорошо укладывается в современное понимание ЕИП. При таком подходе нет необходимости в создании специальных служб для различных ИС - сервисно-ориентированная интеграция использует связующую среду, которую можно использовать повторно.

Современной тенденцией в этой области является использование веб-сервисов и универсальных стандартов представления данных (например, XML). В целом технология данного вида интеграции опирается на сервисно-ориентированную архитектуру ИС (*Service Oriented Architecture, SOA*).

Основу SOA составляют принципы многократного использования функциональных элементов, ликвидации дублирования функциональности, унификации типовых операционных процессов, обеспечения перевода операционной модели на централизованные процессы и функциональную организацию на основе выбранной платформы интеграции.

SOA использует такие технологии, которые интегрируют системы посредством использования сервисов, а не написания дополнительного программного кода. Компоненты или сервисы, имея согласованные общие интерфейсы, используют единые правила для определения того, как вызывать сервисы и как они будут взаимодействовать друг с другом.

Данная архитектура предполагает наличие трех основных компонентов: поставщика сервиса, потребителя сервиса и некоторого реестра сервисов или средств поиска и подбора необходимых информационных ресурсов. В такой схеме взаимодействия поставщик сервиса регистрирует свои сервисы в реестре или предоставляет метаописание имеющихся ресурсов, а потребитель обращается к реестру с запросом определенной структуры.

Компоненты программной системы могут быть распределены по разным узлам сети, и предлагаются как независимые, слабо связанные и, взаимозаменяемые сервисы-приложения. Программные комплексы, разработанные в соответствии с SOA, часто реализуются как набор веб-сервисов, интегрированных при помощи известных стандартных протоколов (SOAP, WSDL, и т.п.). Веб-сервисы работают на основе независимого от платформы и языка программирования стандартного интерфейса, что позволяет говорить о том, что технологии сервисно-ориентированной интеграции независимы от конкретных разработчиков ИС.

Технология виртуальной интеграции гетерогенных ИР и сервисов

Чаще всего проблема интеграции гетерогенных данных и сервисов их обработки формулируется следующим образом: имеется несколько гетерогенных источников данных, которые каким-то образом связаны на смысловом уровне; необходимо предоставить возможность унифицированного доступа и обработки этих данных, как если бы они имели единое логическое и физическое представление. Для решения этой проблемы требуется более гибкая альтернатива прямой физической интеграции данных. Такой альтернативой может стать технология виртуальной интеграции распределенных информационных ресурсов и сервисов в рамках функционирования комплексной информационно-аналитической среды (Единого Информационного Пространства (ЕИП)) [3].

Виртуальная интеграция распределенных гетерогенных информационных ресурсов характеризуется тем, что данные не материализуются в локальной базе данных, вместо этого промежуточное программное обеспечение транслирует пользовательские запросы в подзапросы к источникам данных и сервисам их обработки, и на основе ответов отдельных информационных ресурсов формирует окончательный результат.

Под распределенными системами обычно понимают программные комплексы, составные части которых функционируют на разных компьютерах в сети. Эти части взаимодействуют друг с другом, используя ту или иную

технологии различного уровня. Выбор приемлемой технологии создания распределённой информационной системы зависит от выбора ее архитектуры.

Рассматривая информационную систему как совокупность взаимодействующих компонентов, можно распределить их по следующим уровням:

1) аппаратный уровень (компьютеры, периферийные устройства, сетевое и телекоммуникационное оборудование и т.д.);

2) системный и системно-зависимый уровни (операционные системы, сетевые протоколы и т.д.);

3) уровень прикладной среды (средства middleware, DBMS, Intranet, OLAP, коммуникационные интерфейсы и др.);

4) уровень приложения предметной области (общая инфраструктура, как совокупность компонентов ИС, пригодных для использования в различных предметных областях, а также компоненты, реализующие модель предметной области. Более формальное определение и пример описания отдельных информационных систем как совокупности взаимодействующих в ЕИП компонентов можно найти в [3].

Под проектированием архитектуры взаимодействия компонентов интеллектуальной предметно-ориентированной ИС понимается, прежде всего, выделение базовых компонентов, разработка их интерфейсов, а также определение правил и принципов взаимодействия этих компонентов. Каждый из таких компонентов представляет собой программный модуль, исполняемый в рамках отдельного процесса. При проектировании архитектуры взаимодействия распределенных компонентов ИС различают вертикальный, горизонтальный и смешанный типы взаимодействия. При этом, понятие клиента, взаимодействующего с сервером приложений, трактуется широко. Он может поддерживать интерфейс с конечным пользователем, а может выполнять прикладные функции и сам являться сервером приложения. В общем случае клиент (сервер) может, как предоставлять, так и запрашивать некоторые сервисы. Это позволяет осуществить декомпозицию функций по компонентам проблемно-ориентированной ИС, которая была бы оптимальной в контексте решаемой задачи.

Одним из активно развивающихся сегодня направлений интеграции является семантическая интеграция. К этой группе технологий можно отнести такие технологии, как Z39.50, XML, RDF, SOAP и другие. В основе Z39.50 лежит идея построения абстрактной модели работы с абстрактной базой данных. Каждый элемент этой абстрактной модели подробно описывается до однозначного толкования и стандартизуется с присвоением уникального идентификатора. Язык XML предоставляет удобный и универсальный подход к хранению и передаче информации. Обмен информацией в формате XML - это механизм, позволяющий свести к минимуму проблемы внутрифирменных форматов данных. SOAP - это протокол, предназначенный для обмена структурированной информацией в децентрализованной, распределённой среде. Он использует XML-технологии для создания масштабируемых структур обмена сообщениями, предоставляя конструирование сообщений, которыми можно обмениваться при помощи множества различных протоколов. Важно отметить и то, что структура SOAP разработана независимой от любой конкретной программной модели или конкретной реализации специфической семантики.

Идея RDF заключается в том, что при большом разнообразии семантики описываемых ресурсов невозможно создать единое семантическое пространство, которое удовлетворяло бы все потребности в описании семантики ресурсов. В то же время каждый ресурс или группа связанных ресурсов, как правило, имеет ограниченную семантику. Описывать семантику ресурса и затем выполнять поиск тем проще, чем уже и специфичнее его предметная область. При невозможности объединить в рамках одной семантики все значимые понятия, встречающиеся в информационных ресурсах, остается искать пути работы с неоднородными и независимыми семантическими описаниями ресурсов. Для описания предметной области ресурсов и сервисов может быть использован стандарт RDF.

Заключение

Таким образом, виртуальная интеграция распределенных информационных ресурсов и сервисов, основанная на технологии семантической интеграции и сервис-ориентированной архитектуре, даёт большие возможности для комбинации семантических технологий с технологиями взаимодействия распределённых компонентов информационных систем.

Литература

1. Кузнецов, С. Переносимость и интероперабельность информационных систем и международные стандарты [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://citforum.ru/database/articles/art_1.shtml
2. Михайлов, И.С. Исследование и разработка методов и программных средств обеспечения структурной и семантической интероперабельности информационных систем на основе метамodelей /И.С. Михайлов // Труды 11-й национальной конференции по искусственному интеллекту - 2008. - Т.2. - С.207-209.
3. Вицентий, А.В. Разработка модели единого информационного пространства для оценки надежности его функционирования / А.В. Вицентий // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып.2. -4/2011(7).– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. – С 65-70.

Сведения об авторе

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

Alexander V. Vicentiy - Ph.D. (Tech. Sci.), researcher, docent

УДК 004.9

О.В. Фридман

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО МЕТОДА КООРДИНАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ*

Аннотация

Статья продолжает цикл исследований по применению ранее разработанного градиентного метода координации для решения задачи оперативного управления объектами различной структуры. Приведено краткое описание результатов модельного эксперимента для объектов абстрактной структуры (иерархической и сетевой). Проведена апробация метода на модели реальной структуры сети виртуальных предприятий.

Ключевые слова:

координация, оперативное управление.

O.V. Fridman

USING OF GRADIENT COORDINATION TECHNIQUE TO ADDRESS THE PROBLEM OF OPERATIVE CONTROL OF OBJECTS WITH DIFFERENT STRUCTURES

Abstract

The article continues the research on the using of previously developed gradient coordination technique which solves the problem of operative control of objects with different structures. A short results description of the simulation for objects abstract structure (hierarchical and network) is presented. The approbation of the method on a real structure model of virtual enterprises network was made.

Keywords:

coordination, operational control.

В теории и практике управления основная задача состоит в поиске управляющих воздействий, которые способны улучшить поведение системы в смысле достижения определенных заранее целей. В случае децентрализованных систем необходимо скоординировать взаимодействия подсистем.

В управлении координация – это упорядочение и согласование работы различных элементов системы в процессе их совместной деятельности. Координация является центральной функцией процесса управления, которая обеспечивает его бесперебойность и непрерывность. Главная задача координации – достижение согласованности в работе всех звеньев системы путем установления рациональных связей (коммуникаций) между ними. Характер этих связей может быть самым различным, так как зависит от координируемых процессов.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 13-07-00318-а, 14-07-00205-а).

Далее кратко опишем метод координации, основанный на предложенных в [1] необходимых и достаточных условиях координируемости локально организованной иерархии динамических систем.

Для апробации метода проведен компьютерный эксперимент с использованием системы визуального блочного математического моделирования VisSim. Целью анализа являлось выявление диапазонов устойчивости локальных управлений и координирующих сигналов к небольшим изменениям динамических характеристик объекта управления (вариациям, в том числе структурным, матрицы динамики объекта) и уровней задающих воздействий. Кроме того, исследовались возможности повышения быстродействия иерархической системы. Подробно методика проведения модельного эксперимента описана в работе [1].

Исследования проводились для управляемого объекта, представляющего собой три последовательно соединенных линейных звена с передаточной функцией второго порядка, одним управляющим входом и одним выходом каждый. Рассматривалась двухуровневая система управления, состоящая из трех управляющих элементов нижнего уровня, каждый из которых вырабатывал сигнал управления «подведомственным» ему звеном управляемой системы, и одного координирующего элемента верхнего уровня.

Элементы второго уровня – три аналогичные друг другу локальные управляющие элемента. В каждом из них вычисляется градиент обобщенного критерия [1], его значения подаются в качестве управляющего воздействия на входы блоков управляемой системы.

Управляющие элементы нижнего уровня использовали для принятия решений (выработки управляющих воздействий) только локальную информацию о состоянии подчиненных им звеньев управляемого объекта, координатор обладал полной информацией о состоянии этого объекта и управляющих элементов нижнего уровня, что соответствует принципам теории иерархических систем [2]. Для принятия решений все управляющие элементы использовали представленный в [1, 3] обобщенный критерий затрат. Результаты моделирования показали, что при пошаговом изменении управляющих воздействий на отдельные линейные звенья с использованием в качестве «стабилизирующего» значения обобщенного критерия затрат, вычисляемого для каждой подсистемы на каждом шаге моделирования, за заданное время подсистемы и система в целом стремятся к «эталонным» значениям выходных переменных.

Таким образом, экспериментально подтверждены выводы, сделанные в работе [4] об устойчивости результатов децентрализованного управления на основе градиентов (приращений) локальных критериев качества.

Исследования показали, что:

1. Для исследованной двухуровневой системы управления линейным объектом подключение нижнего уровня управления в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости системы к внешним возмущениям и примерно вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы.

2. Подключение блока координации позволяет повысить устойчивость системы к внешним возмущениям более чем вдвое, увеличить быстродействие системы приблизительно вдвое, расширить диапазон устойчивости системы к

структурным возмущениям в полтора – два раза (по сравнению с локальным управлением).

В работах [5, 6] по методике, описанной для иерархической управляемой системы, представлены результаты исследования децентрализованной системы управления сетью объектов. Проанализирована устойчивость исследуемой системы к внешним возмущениям. Для этого на каждый узел сети поочередно подавался сигнал, соответствующий 10%-му внешнему возмущению. Далее определялись диапазоны устойчивости системы к малым внутренним возмущениям, реализованным путем добавления обратных связей между выходами и входами узлов сети (в направлении от общего выхода системы к общему входу). При этом применялась та же методика, что и для иерархической системы (отклонение по амплитуде $\pm 5\%$). Проанализированы все возможные сочетания связей «вход – выход».

Затем определялись диапазоны устойчивости системы при поочередном подключении управления на каждый узел сети. Управления задавались пропорционально градиенту обобщенного критерия [1, 3], его значения подавались в качестве управления по одному на вход каждого из возбуждаемых узлов сети.

Исследовалось поведение системы при одновременном подключении всех управляющих элементов, возбуждение подавалось только на один узел сети. Определены диапазоны устойчивости для такой ситуации.

Следующим шагом эксперимента было подключение координатора, построенного аналогично иерархической системе. Исследовано подключение блока координации только на возбуждаемый узел и полное подключение координатора (на все узлы сети) с одиночным подключением управления (на возбуждаемый узел сети) и полным подключением управления (на все узлы сети).

Для исследованной двухуровневой системы управления сетевым объектом выявлено разделение внутренних обратных связей на «сильные» (возмущение, подаваемое на эти связи, существенно влияет на поведение системы в целом) и «слабые». Поочередное подключение локальных управлений в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости соответствующих «сильных» связей к внешним возмущениям и практически не влияет на «слабые» связи. Локальное одиночное управление тем узлом сети, на который подано возмущение, достаточно эффективно компенсирует небольшие структурные возмущения и более чем вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы в целом. Полное подключение нижнего уровня управления ведет к резкому сужению диапазонов устойчивости «сильных» связей (в 2-4 раза) и появлению реакции на невозбуждаемых узлах сети. Следовательно, некоординируемые локальные управления «мешают» друг другу, что и можно было предположить с учетом особенностей сетевых структур.

Использование предложенного градиентного метода координации для сетевого объекта позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и свести к минимуму взаимное влияние узлов сети, если локальные управляющие

элементы не искажают намеренно информацию, передаваемую на уровень координатора;

- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям более чем в два раза, как и для двухуровневой системы управления линейным объектом.

На описанных выше этапах моделирования возмущение на отдельные узлы исследуемых систем подавалось «вручную», в каждый момент времени было известно, какой именно узел модели подвергается внешнему (или внутреннему, структурному) воздействию. В реальных системах эта информация отсутствует, что требует реакции всех подсистем на возмущения, порожденные только одной из них. Поэтому далее был разработан метод поиска «возмущенного» узла моделируемой системы. Для решения этой задачи в качестве «поискового» блока предложено использовать нейронную сеть [7–9].

Исследования показали, что:

1. Нейроблок определяет номера узлов, на которые подается одиночное внешнее возмущение в диапазоне возмущений 3-100% от тестового возмущения (на котором обучалась сеть) в диапазоне времен моделирования 10-100%.

2. Подключение нейроблока приводит к уменьшению установившейся погрешности по сравнению с полной координацией при подаче внешнего возмущения, как на одиночный узел, так и на несколько узлов.

3. При подаче внешнего возмущения на несколько узлов сеть выявила реакцию на возмущение не только на возмущаемых узлах, но и на связанных с ними.

4. Для невозбуждаемых узлов при подключении нейроблока время компенсации воздействия примерно вдвое сокращается, а возбуждение уменьшается.

5. При моделировании структурных возмущений, так же как и при внешнем воздействии, подключение нейроблока выявило возбуждение не только на узле, на который подается структурное возмущение, но и на других узлах сети. Выборочная координация (в соответствии с информацией поискового блока о возбужденных узлах сети) позволяет расширить диапазоны устойчивости моделируемой системы, сократить время компенсации воздействия в два раза, снизить значение установившейся погрешности.

6. Эффективность работы нейроблока с ростом числа возмущаемых узлов падает, как с точки зрения уменьшения установившейся погрешности, так и времени компенсации для возбуждаемых узлов.

Теперь необходимо оценить результативность предложенного метода в реальных приложениях, так как описанные выше исследования проводились на абстрактных моделях.

Апробация разработанного метода координации, служащего для обеспечения устойчивости функционирования исследуемой системы проводилась на модели дистрибуционной сети (ДС) виртуальных предприятий. Подобные системы исследуются в рамках подхода, который развивается при участии авторов в СПИИРАН под руководством Б.В. Соколова – методология разработки полимодельных комплексов для корпоративных информационных систем (КИС). Данный подход позволяет решить задачу оперативной

реконфигурации системы в условиях непрогнозируемых аварий (аварийный режим). При этом решается задача обеспечения катастрофоустойчивости системы, то есть ее минимальной деградации при аварийном нарушении функционирования.

На рис. 1 представлена дистрибуционная сеть виртуальных предприятий. Поставка товаров осуществляется через узлы 1 и 6. Затем товары проходят обработку в центральном узле распределения 4. Товары из узла 1 проходят предварительную обработку в терминалах 2 и 3. Из центра 4 товар перемещается в региональный центр распределения 5, возможности которого ограничены доведением товара до потребителя в каждый период времени (например, месяц) 100 единицами. Для компенсации возможных проблем с каналом поставок 4-5, в ДС введен терминал аутсорсинга 7 в качестве альтернативного пути доставки товара в центр распределения 5. Кроме того, возможно переместить небольшие количества (максимально 30 единиц за период) товара непосредственно от терминала 2 до центра 5. Объемы транспортировки товара ограничены в каждый рассматриваемый период снабжения величиной на дугах ДС. Узлы ДС имеют ограниченные складские помещения, представленные на рисунке треугольниками.

В рамках подхода, развиваемого в СПИИРАН, основная задача состоит в нахождении плана совокупного потока продукции на динамически изменяющейся ДС с периодами постоянства структурного состояния с целью максимизации проданной потребителю продукции и минимизации постоянных и переменных расходов на ее поставку, транспортировку, возврат, хранение на складах.

В данной работе эта задача не решается, а ДС используется для проведения модельного эксперимента в среде VisSim как прототип для выявления диапазонов устойчивости локальных управлений и координирующих сигналов к изменениям динамических характеристик объекта управления и уровней задающих воздействий.

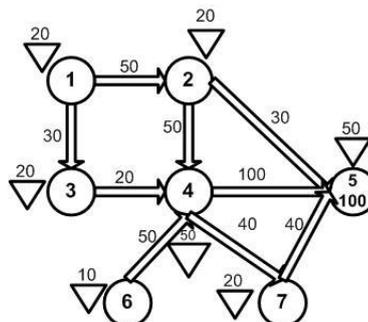


Рис. 1. Дистрибуционная сеть виртуальных предприятий

На рис. 2 представлена структура эталонной модели ДС в среде VisSim. Исследуемая модель имеет подключенные к каждому узлу сети блоки локального управления, координатора и нейросетевого блока, так же, как это было смоделировано для абстрактных моделей иерархической и сетевой структур [8–10]. Следует отметить, что в отличие от абстрактных моделей в данной модели отсутствуют обратные связи.

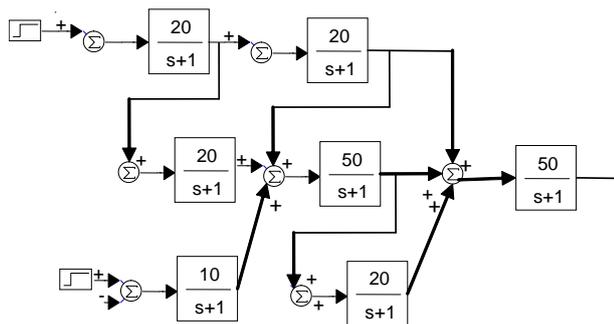


Рис. 2. Структура эталонной модели ДС в среде VisSim

Для исследованной системы управления сетевым объектом, имеющим описанную структуру, как и в случае абстрактной сетевой модели выявлено разделение узлов системы на «сильные» (возмущение, подаваемое на эти узлы, существенно влияет на поведение системы в целом) и «слабые». «Сильными» являются первый и шестой узлы, на которые могут поступать внешние возмущения (нумерация узлов проводится в соответствии, показанной на рис. 1). Реакция на внешние воздействия на остальных узлах слабо выражена.

Выявлено, что наибольшую реакцию вызывает подача возмущающего сигнала на первый узел сети. При этом только 5% превышение возмущения от эталонного сигнала не приводит к выходу системы за диапазон устойчивости.

При подаче возмущения на шестой узел сети выход за диапазон устойчивости наблюдается при превышении возмущающего сигнала до 7,5 раз от эталонного значения.

При подаче возмущения на оба узла одновременно были проанализированы различные сочетания амплитуд возмущающих сигналов. Исследования показали, что выхода за диапазон устойчивости системы в целом не происходит, если на первый узел подается эталонный сигнал, а на шестом возмущение превышает эталон не более чем в 2 раза. Во всех остальных сочетаниях амплитуд возмущающих сигналов реакция системы превышает допустимое 5% отклонение от эталона. Для того чтобы вернуть систему в режим безопасного функционирования далее производился эксперимент по последовательному подключению локальных управлений (на отдельные узлы), полного управления и координации на отдельные узлы системы и полной координации (на все узлы системы).

Поочередное подключение локальных управлений в среднем в два раза расширяет диапазоны устойчивости соответствующих «сильных» узлов к внешним возмущениям и практически не влияет на «слабые». Полное подключение нижнего уровня управления в сети с описанной структурой, в отличие от абстрактной сетевой модели, не ведет к резкому сужению диапазонов устойчивости «сильных» связей и появлению реакции на невозбуждаемых узлах сети. В целом, эксперимент показал, что подключение полного управления слабо (хотя и в лучшую сторону) отличается от подключения локальных управлений. Диапазон устойчивости системы в этом случае расширяется на 2-5%. Возможно, это объясняется особенностями структуры модели, в частности, отсутствием обратных связей.

Следующим этапом исследований было подключение блока координатора на каждый узел исследуемой системы поодиночке и полное подключение. В ходе модельного эксперимента выяснилось, что одиночное подключение координатора на первый («сильный») узел дает снижение отклонения от эталонных значений примерно на 10% по сравнению с одиночным управлением. Аналогичное подключение на шестой («сильный») узел дает снижение отклонения от эталона до 60%. Подключение координатора на оба «сильных» узла, как и полное подключение дает снижение отклонения от эталонных значений на 2-5%.

В целом, модельный эксперимент показал, что применение градиентного метода координации для сетевой структуры описанной конфигурации позволяет повысить устойчивость системы к внешним возмущениям в различных ситуациях в среднем в 2-2,5 раза.

Исследования влияния координации на быстродействие системы показали, что при подключении управления и координации время компенсации воздействия сокращается примерно с 12-15 секунд до 10-12 секунд.

Применение метода поиска «возмущенного» узла для моделируемой системы признано нецелесообразным, так как в данной конфигурации системы внешнее возмущение может поступать только на два узла, остальные узлы системы по отдельности слабо реагируют на внешние возмущения, то есть, совокупная реакция системы зависит от воздействия на «сильные» узлы.

Выводы

1. Разработан метод координации, который при подаче сигналов локально на отдельные группы узлов обеспечивает устойчивость функционирования системы в целом, способствуя тем самым решению задачи оперативного управления. В рамках предложенного метода проводится выявление диапазонов устойчивости локальных управлений и координирующих сигналов к изменениям динамических характеристик объекта управления (вариациям параметров, в том числе структурным) и уровней задающих воздействий.

2. Разработан метод поиска «возмущенных» узлов при фиксированной структуре объекта исследования. Поисковый блок реализован в рамках нейросетевого подхода с применением градиентных методов.

3. Проведены исследования по применению методов для систем различной структуры.

4. Исследования показали, что предложенные методы хорошо зарекомендовали себя при моделировании абстрактных структур (иерархической и сетевой) с обратными связями.

5. При моделировании реальной системы, имеющей сетевую структуру без обратных связей, применение метода градиентной координации (так же как и при моделировании абстрактных структур) дает значительное расширение диапазонов устойчивости системы и незначительное повышение ее быстродействия при подключении локальных управлений и выборочной координации.

Литература

1. Фридман, А.Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // Информационно-управляющие системы. – 2010. - №6. – С.13-20.
2. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. -344с.
3. Фридман, А.Я. Достаточные условия координируемости локально организованной иерархии динамических систем. Искусственный интеллект // Интеллектуальные системы (ИИ-2009): материалы X Междунар. научно-технической конф. – Таганрог: Изд-во ТТИ Южного Федерального Университета (ЮФУ), 2009. -С.115-117.
4. Фридман, А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем // Труды Одиннадцатой национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, г. Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г. - Т.1. – М.: ЛЕНАНД, 2008. -С.25-31.
5. Fridman, A., Fridman, O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems //Systems Research Forum. – 2010. –Vol. 4. -№ 2. –С.121-136.
6. Fridman, A., Fridman, O. Incremental Coordination in Collaborative Networks // Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT-2010), October 18-20, 2010, Moscow, Russia. – Режим доступа: <http://www.rficdesign.com/conference-ultra-modern-telecommunications-and-control-systems>.
7. Фридман, О.В. Применение нейронных сетей для детектирования источника возмущений в сетевых структурах / О.В. Фридман, А.Я. Фридман //Труды Института системного анализа РАН. -Т.63, вып.2, 2013 г. -С.45-53.
8. Olga V. Fridman, Alexander Ya. Fridman. Decreasing Dissemination of Disturbances within Network Systems by Neural Networks. // TELKOMNIKA, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics, Vol.11, No.9, September 2013. - P.4942~4948. e-ISSN: 2087-278X.
9. Фридман, О.В. Координация управлений в сложных системах с помощью нейронных сетей / О.В. Фридман, А.Я. Фридман // Вестник КИЦ РАН, - 1/2013(12). -Апатиты: Изд-во КИЦ РАН. -2013. -С.76-83.

Сведения об авторе

Фридман Ольга Владимировна – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: ofridman@iimm.ru

Olga V. Fridman – PhD (Tech), senior researcher

УДК 004.89, 004.9

Р.А. Македонов¹, А.А. Зуенко^{1,2}, О.В. Фридман^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ СИТУАЦИОННОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация

Для ситуационного моделирования функционирования регионального природно-промышленного комплекса разработан прототип системы моделирования, реализующий специализированный алгоритм имитации. В алгоритме применен модифицированный процессный способ организации квази-параллелизма для синхронизации нерегулярных процессов, использующих общие материальные ресурсы. Обеспечена возможность подключения в систему моделирования готовых внешних программных модулей сторонних разработчиков, которые имитируют функциональные действия компонент модели в виде разностных уравнений с различными шагами дискретизации.

Ключевые слова:

система ситуационного моделирования, процессный способ организации квазипараллелизма, разностные уравнения с различными шагами дискретизации.

R.A. Makedonov, A.A. Zuenko, O.V. Fridman

ALGORITHM FOR SYNCHRONIZING IRREGULAR PROCESSES IN THE SYSTEM OF SITUATIONAL CONCEPTUAL MODELING

Abstract

For situational simulation of functioning of regional natural-industrial complexes a simulation system prototype that implements the specialized algorithm of simulation is developed. The algorithm is implemented by the modified process method of organizing a quasi parallelism to synchronize processes using shared resources. It is provided an opportunity of connecting a program modules of third-party developers into the simulation system and opportunity to realize the functionality of the model components in the form of difference equations with different sampling steps.

Keywords:

situational simulation system, process method of organizing a quasi parallelism, difference equations with different sampling steps.

Введение

Существует множество толкований таких понятий, как имитационная модель (ИМ), компоненты и параметры модели, функциональные зависимости, ограничения, целевые функции моделирования [1-3]. В дальнейшем будем пользоваться определениями, введенными Р. Шенноном [4]. Система определяется как группа или совокупность объектов, объединенных некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимосвязи для выполнения заданной функции.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 13-07-00318-а, 14-07-00205-а).

Система состоит из компонент. Под *компонентами* понимают составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему. *Параметрами* являются величины, которые исследователь может выбирать произвольно, в отличие от переменных модели, которые могут принимать значения, определяемые видом данной функции. В модели системы будем различать параметры системы двух видов: экзогенные и эндогенные. *Экзогенные переменные* называются также входными. Это означает, что они порождаются вне системы или являются результатом взаимодействия внешних причин. *Эндогенными переменными* называются переменные, возникающие в системе в результате воздействия внутренних причин. В тех случаях, когда эндогенные переменные характеризуют состояние или условия, имеющее место в системе, их называют переменными состояния. Когда же необходимо описать входы и выходы системы, то имеем дело с входными и выходными переменными. *Функциональные зависимости* описывают поведение переменных и параметров в пределах компоненты или же выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения по своей природе являются либо детерминистскими, либо стохастическими. Оба типа соотношений выражаются в виде алгоритмов, которые устанавливают зависимость между переменными состояния и экзогенными переменными. *Ограничения* представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных. Они могут вводиться самим разработчиком, либо устанавливаться системой вследствие присущих ей свойств. *Целевая функция (функция критерия)* представляет собой точное отображение целей и задач системы и необходимых правил оценки их выполнения.

Прежде чем приступить к описанию разработанного алгоритма имитации, кратко рассмотрим особенности ситуационной концептуальной модели (СКМ) в рамках разработанной авторами *ситуационной системы моделирования* (ССМ). Подробное описание приведено в [5, 6].

Ситуационная концептуальная модель

Концептуальная модель служит для формализации представления объекта и анализа требований к системе его моделирования. Это позволяет разделить систему требований и проект реализации, описать модель поведения объекта в терминах предметной области, обосновать правила и процедуры принятия решений и провести оценку принимаемых решений, рассмотреть механизм распределения ресурсов. В концептуальной модели декларируются классы элементов предметной области (объектов, процессов, ресурсов), отношения между ними, их атрибуты, ограничения. Детализация элементов зависит от решаемых задач.

Описание предметной области в виде И/ИЛИ графа позволяет путем выделения фрагмента предметной области формировать корректные задания на проектирование и исполнение конкретного варианта моделирования. Последующие этапы представления концептуальной модели определяют автоматический переход к функциональной спецификации и построению системы алгоритмов моделирования.

Концептуальная модель служит основой разработки формальных моделей для анализа системы.

Для создания СКМ исследуемую систему (например, природно-технический комплекс (ПТК)) необходимо представить в виде иерархически упорядоченного множества *объектов* (составных частей). Эта иерархия отражает организационные взаимоотношения объектов. Каждому объекту может приписываться набор *процессов*, имитирующих преобразование некоторого набора входных ресурсов (или данных) в выходные. Одной из основных характеристик процесса является его *исполнитель*, который определяет динамические свойства процесса и способ реализации в компьютере. Исполнителя можно задать либо непосредственно (в виде функции), либо ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля. *Ресурсы* атрибутированы списками допустимых значений, и также могут иметь исполнителей, например, порождающий их процесс или базу данных, где хранятся временные ряды значений. Списки используются и для числовых, и для ранжированных переменных, чтобы избежать вычислительных проблем, связанных с малыми изменениями данных, и обеспечить их совместную расчетно-логическую обработку. Логическая обработка данных реализуется посредством встроенной экспертной системы, которая может быть назначена исполнителем любого ресурса или процесса. Тогда этот ресурс или все выходные ресурсы этого процесса должны присутствовать в правых частях некоторого набора правил экспертной системы ССМ.

После формирования иерархии объектов необходимо задать ресурсы, которыми обмениваются объекты (сформировать списки входных и выходных ресурсов объектов). Множество ресурсов включает настроечные ресурсы, передаваемые вдоль дуг графа объектов и обеспечивающие корректность иерархии объектов, а также "материальные" ресурсы, описывающие другие типы взаимодействий между объектами. Каждый входной ресурс должен либо порождаться другим объектом, либо помечаться как внешний, что означает его реализацию из некоторой базы данных или на выходе некоторой функции, заданной пользователем. Входные ресурсы процесса могут поступать из внешних файлов и/или программных модулей, сам процесс и функция его качества также могут вычисляться некоторым программным модулем либо непосредственно по формуле, введенной пользователем. Информационные ресурсы представляют собой выходные данные процессов настройки и обратной связи, входную «нематериальную» информацию (количественные характеристики объектов или процессов) и т.п.

Таким образом, путем формирования иерархии объектов, описания связывающих их ресурсов и процессов, которые реализуют внутри объектов преобразование входных ресурсов в выходные, строится декларативная *ситуационная концептуальная модель* ПТК. В ходе ее построения, с помощью *отношений иерархии* любой составной объект модели однозначно сопоставляется с некоторым подмножеством ГИС-элементов (точек, дуг и полигонов), формирующих его графическое представление. Это позволяет автоматически измерять графические характеристики объектов для использования в расчетах и отображать результаты моделирования на карте.

Для представленной концептуальной модели ПТК разработан набор средств (пользовательские типы элементов модели, автоматическое категоризирование этих элементов, аппарат исполнителей и т.д.), позволяющих повысить

детальность контроля связности, корректности и разрешимости модели до отдельного ресурса и, соответственно, повысить адекватность модели.

Базовой формой представления информации в ССМ является *факт*, содержащий сведения о значении некоторого ресурса. *Исходной ситуацией* называется конечный список фактов о состоянии объекта исследования, вводимый пользователем. На основе анализа исходной ситуации и концептуальной модели экспертная система (задавая при необходимости дополнительные вопросы пользователю) доопределяет исходную ситуацию до *полной ситуации*, которой соответствует связный *фрагмент* концептуальной модели, возможно, включающий некоторые альтернативы реализации структуры объекта моделирования. *Достаточная ситуация* получается из соответствующей ей полной ситуации путем выбора альтернатив, предпочтительных по заданным критериям качества (в ходе решения задачи классификации ситуаций). Достаточная ситуация является *управляющей*, если требует изменения структуры объекта. При невозможности выбора единственной предпочтительной ситуации имеющиеся альтернативы могут исследоваться в имитационном режиме. *Сценарий* представляет собой последовательность достаточных ситуаций, генерируемых одним и тем же фрагментом модели, и определяет конкретный вариант моделирования [5-8].

Далее опишем существующие способы организации процесса имитации.

Способы организации квазипараллелизма

Согласно [1-3] функционирование каждой компоненты K_i (объекта) сложной системы представляет собой последовательность функциональных действий ΦD_{ij} , которые при построении имитационной модели аппроксимируются некоторыми упрощенными функциональными действиями $\Phi D'_{ij}$. Будем считать, что в результате выполнения ΦD_{ij} в сложной системе происходит некоторое событие C_{ij} . При этом любое ΦD_{ij} выполняется на некотором временном интервале τ_{ij} (задержка процесса).

В имитационной модели каждое $\Phi D'_{ij}$ описывается в общем случае некоторым алгоритмом AL_{ij} (исполнителем). Пару (AL_{ij}, τ_{ij}) обычно называют ij -активностью (процессом) и обозначают AK_{ij} . В ходе имитации происходят реализация $\Phi D'_{ij}$ по соответствующим алгоритмам AL_{ij} и последующее изменение модельного времени t_0 . Модельное время – это некоторая глобальная переменная t_0 , которая необходима для обеспечения имитации параллельных событий реальной системы. С помощью этой переменной организуется синхронизация всех событий C_{ij} в модели и выполнение алгоритмов AL_{ij} модели системы. Посредством модельного времени t_0 реализуется квазипараллельная работа компонент имитационной модели. Приставка “квази” в данном случае отражает последовательный характер обслуживания событий в имитационной модели, одновременно возникающих в разных компонентах реальной системы.

Если выполнение нескольких AL_{ij} попадает на один и тот же момент времени (это означает, что в реальной системе происходит одновременно несколько событий C_{ij}), то AL_{ij} обслуживаются последовательно, при этом модельное время не меняется до окончания выполнения всех совпавших по времени реализаций алгоритмов AL_{ij} . Когда имитация одновременно появившихся событий C_{ij} завершена, меняется значение глобальной переменной

t_0 по формуле $t_0 = t_0 + T$, где T выбирается в зависимости от выбранного способа изменения t_0 : с помощью фиксированных или переменных интервалов изменения модельного времени. Часто их называют соответственно способами фиксированного шага и шагов до следующего события. Независимо от способа изменения t_0 механизм регламентации модельного времени обычно предусматривает выполнение следующих действий:

- выбор событий в модели, которые необходимо обслужить при одном и том же модельном времени t_0 ;
- обслуживание событий, которые имеют одинаковое время инициализации;
- по окончании обслуживания всех одновременных (в пределах шага) событий определение очередного значения модельного времени;
- корректировка временной координаты модели t_0 ;
- проверка условий окончания моделирования либо по времени завершения имитации, либо выполнению других событий в системе.

Все эти действия выполняет управляющая программа моделирования (УПМ). В функции УПМ также входят: запуск на выполнение алгоритмов AL_{ij} и организация взаимодействия AL_{ij} друг с другом в ходе имитации [1-3].

В моделях сложных систем состав активностей в разных компонентах и характер их взаимодействия друг с другом могут быть различными. В зависимости от состава алгоритмов AL_{ij} , наличия связей между компонентами, целей и задач моделирования выбирается тот или иной способ представления K_i и реализации активностей в имитационных моделях. Наибольшее распространение получили пять способов описания имитационной модели: непосредственно активностями, аппаратом событий, транзактами, агрегатами, процессами. Каждому способу формализации объекта моделирования соответствует свой способ организации квазипараллелизма обслуживания УПМ активностей: просмотр активностей, составление расписания событий, управление обслуживанием транзактов, управление агрегатами, синхронизация процессов соответственно.

Организация квазипараллелизма способом просмотра активностей используется при моделировании реальных систем, характеризующихся следующим. Все ΦD_{ij} компонент K_i реальной системы различны, причем для выполнения каждой из них требуется выполнение своих условий. Эти условия конкретны, известны заранее исследователю и могут быть представлены алгоритмически. В результате выполнения ΦD_{ij} в системе происходят различные события S_{ij} . Связи между ΦD_{ij} отсутствуют, все ΦD_{ij} функционируют независимо друг от друга. В таких случаях исследователь описывает имитационную модель в виде двух частей: множества активностей $\{AK_{ij}\}$ и набора процедур проверки выполнимости условий инициализации активностей. Под инициализацией AK_{ij} понимают передачу управления от УПМ на выполнение AL_{ij} данной активности. В процедурах проверки выполнимости условий инициализации AK_{ij} реализуется зависимость выполнения ΦD_{ij} от конкретной ситуации, имеющей место в реальной системе на каждый момент времени. Выполнение алгоритма AL_{ij} для данной активности назовем обслуживанием AK_{ij} . Завершается обслуживание AK_{ij} вычислением следующего момента времени инициализации активности с последующим возвратом управления

УПМ. Таким образом, имитация представляет собой чередование выполнения алгоритмов активностей, модификации временной координаты и алгоритма УПМ. Вся имитационная модель представляет собой набор активностей AK_{ij} , каждая из которых после выполнения возвращает управление УПМ. Данный способ организации квазипараллелизма выгоден только при наличии достаточно простых алгоритмов проверки выполнимости условий инициализации активностей. В противном случае, когда в работе УПМ велик удельный вес безуспешных проверок, существенно замедляется исполнение алгоритма.

Организация квазипараллелизма способом составления расписания событий используется при моделировании реальных систем, особенности которых описаны далее. Различные компоненты K_i выполняют одни и те же функциональные действия ΦD_{ij} . Начало выполнения этих ΦD_{ij} определяется одними и теми же условиями, которые также заранее известны исследователю и могут быть представлены алгоритмически. В результате выполнения одних и тех же ΦD_{ij} в системе происходят одинаковые события S_{ij} независимо друг от друга. Связи между различными ΦD_{ij} отсутствуют, каждое ΦD_{ij} выполняется независимо друг от друга. В таких случаях исследователь также описывает имитационную модель в виде двух частей: множества активностей $\{AK_{ij}\}$ и набора процедур проверки появления событий и инициализации соответствующих активностей. При этом каждая AK_{ij} имитирует выполнение группы совпавших функциональных действий ΦD_{ij} у различных компонент K_i системы. Такие групповые активности называют процедурами обслуживания событий S_{ij} . Выполнение этих процедур синхронизируется в модельном времени списковым механизмом планирования УПМ. Каждый элемент этого списка определяет момент появления события S_{ij} , а также имя или номер той процедуры обслуживания событий, которая должна выполняться после завершения этого события. Применение данного способа в случаях, описанных выше, будет более экономичным, чем способ имитации активностями. Однако есть и существенный недостаток. Из-за того, что происходит объединение активностей различных компонент в составе процедур обслуживания событий, описание имитационной модели может потерять сходство со структурой реальной системы. Это обстоятельство может затруднить анализ результатов моделирования и модификацию ИМ.

В ряде случаев функциональные действия ΦD_{ij} компонент реальной системы одинаковы. Общее число этих действий ограничено. Каждое ΦD_{ij} представляет собой набор простейших операций, и его можно аппроксимировать активностями, алгоритмы, выполнения которых лишь корректируют значения временных координат компонент системы. Важно и то, что существует зависимость выполнения ΦD_{ij} друг от друга, которую удобно представить в виде схемы. Взаимодействие такого вида активностей аналогично работе систем массового обслуживания (СМО). Для имитации поведения реальной системы в таких случаях используется транзактный способ организации квазипараллелизма в ИМ. Однотипные активности пользователем объединяются и называются приборами массового обслуживания. Инициаторами появления событий S_{ij} в ИМ становятся заявки (транзакты) на обслуживание этими приборами массового обслуживания. Связь между обслуживающими приборами устанавливается с помощью системы очередей, выбранных дисциплин

поступления и способов извлечения из них транзактов. За внешнюю простоту описания ИМ, которую предоставляет данный способ, приходится платить достаточно большими накладными расходами на организацию квазипараллелизма. Эти дополнительные затраты машинного времени значительно возрастают при увеличении самой модели, поскольку возрастает количество списков транзактов и блоков, которые необходимо несколько раз просматривать при организации квазипараллельной работы транзактов с помощью УПМ.

В некоторых реальных системах имеет место тесное взаимодействие между функциональными действиями компонент системы. Компоненты системы обмениваются между собой сигналами. Каждый выходной сигнал от одной компоненты K_i является входным сигналом для другой компоненты системы. Если при этом сами функциональные действия ΦD_{ij} аппроксимируются явно задаваемыми математическими зависимостями, позволяющими определять момент появления выходных сигналов компонент K_i при наличии входных сигналов, поступающих от других компонент, то создаются подходящие условия для построения ИМ по модульному принципу. В этом случае каждый из модулей ИМ строится по унифицированной структуре и называется агрегатом. Агрегат является математической схемой, с помощью которой возможно описание достаточно большого круга реальных процессов. В любой момент времени агрегат может находиться в одном из возможных состояний. Переход из одного состояния в другое описывается с помощью оператора перехода. Агрегат имеет входы, куда поступают входные сигналы от других агрегатов, и выходы, на которых формируются выходные сигналы. Также агрегат может иметь дополнительные входы, на которые поступают управляющие сигналы. Выходные сигналы формируются из входных и управляющих сигналов оператором выхода. Значения операторов перехода и выхода задаются исследователем при аппроксимации агрегатами выполнения ΦD_{ij} реальной системы. Агрегатный способ организации квазипараллелизма в ИМ является достаточно удобным с точки зрения описания сложной системы. Однако необходимость коммутации и обслуживания сигналов требует дополнительных расходов ресурсов машинного времени.

При моделировании сложных систем исследователи зачастую встречаются со следующими ограничениями. Все функциональные действия ΦD_{ij} компонент реальной системы различны. Условия появления событий S_{ij} , приводящие к выполнению ΦD_{ij} , также индивидуальны. У каждой компоненты K_i существует определенная последовательность выполнения ΦD_{ij} . В любой момент времени в данной компоненте может выполняться только одно ΦD_{ij} . Перечисленные ограничения определяют выбор исследователем процессного способа организации квазипараллелизма в ИМ. При процессном подходе краткость описания активностей объединяется с эффективностью событийного представления имитации. Процессным способом можно организовать имитацию любых сложных систем. Однако процессный способ имитации особенно эффективен в тех случаях, когда требуется высокий уровень детализации выполнения ΦD_{ij} при их аппроксимации с помощью AL_{ij} и сама ИМ используется для поиска узких мест в системе. Это необходимо в задачах

моделирования проектируемых систем, когда в ходе проектирования или исследования реальной системы в модель приходится вносить частые изменения. Процессный способ имитации обладает хорошими выразительными возможностями при осуществлении многоуровневого и модульного подхода к моделированию систем. Эти преимущества возрастают по мере роста размеров модели [1]. Теперь рассмотрим механизм имитации функционирования концептуальной модели.

Специализированный алгоритм имитации

При реализации алгоритма был выбран способ задания шага до следующего события, поскольку события моделируемой сложной системы распределены во времени неравномерно и могут появляться через значительные временные интервалы.

В рассматриваемой концептуальной модели используется процессный способ организации квазипараллелизма. Каждый процесс может иметь собственную задержку в преобразовании входных ресурсов в выходные, в общем случае не равную и не кратную задержкам других процессов. Для моделирования асинхронных процессов разработан алгоритм имитации, состоящий из четырех этапов.

Первый этап алгоритма состоит в выделении фрагмента модели для последующей имитации. Выбор конкретного фрагмента осуществляется на основе анализа сформулированной пользователем задачи и заданных им начальных данных. В рассматриваемом фрагменте не должно быть альтернатив, и он должен представлять собой связанное множество объектов и ресурсов (рис. 1). Допустим, требуется ответить на вопрос, какова должна быть величина указанных входных параметров модели при заданных значениях выходных ресурсов. Тогда для выделения фрагмента проводится пополнение ситуации по указанным элементам модели (на рис. 1 отображены жирными стрелками) согласно следующей схеме. Фрагмент рассматривается как ориентированный граф: множество вершин соответствует множеству объектов, множество дуг – множеству ресурсов, связывающих объекты. При этом начальной вершиной дуги является объект-источник ресурса, а конечной вершиной дуги – объект-приемник. Для каждого объекта, содержащего внешний выходной ресурс, строится множество контрдостижимых объектов A_i , объединение которых обозначим за $A = \bigcup_i A_i$. Напомним, что в множество вершин графа,

контрдостижимых из заданной вершины x_i , состоит из таких вершин x_j , для которых существует путь, идущий от вершины x_j к вершине x_i . Искомое множество объектов фрагмента модели и есть множество A . Ресурсы, для которых объект-источник или объект-приемник не входит в множество A , не рассматриваются в данном фрагменте.

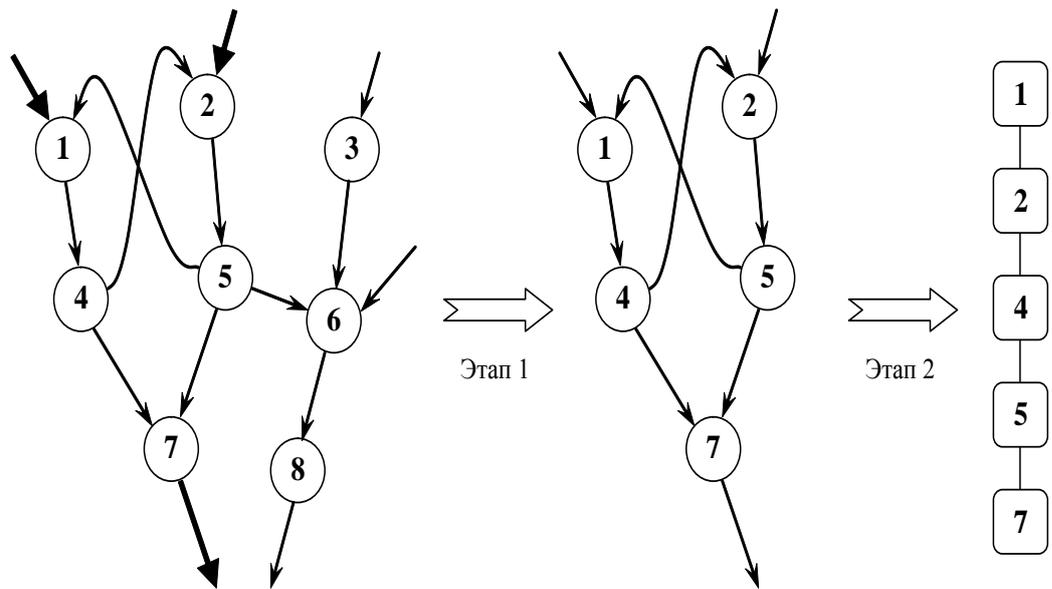


Рис. 1. Первый и второй этапы алгоритма имитации

На третьем этапе происходит первоначальное упорядочение процессов, то есть формируется начальное расписание (рис. 2). Программно расписание реализуется как двухуровневый список процессов, в котором для каждого момента времени указывается подписание процессов, подлежащих запуску. В качестве временной метки используется целочисленное значение, отражающее количество модельных тактов, пройденных с начала имитации.

Для получения начального расписания осуществляется «холостой» (без вызова исполнителей) запуск всех процессов на нулевой момент времени. Каждый процесс после «срабатывания» сам устанавливает время своего будущего «запуска». Это происходит следующим образом: процесс с задержкой срабатывания k , выполненный на момент времени t , помещается в подписание процессов на момент времени $t+k$. При установке будущего «запуска» процесса может возникнуть ситуация, когда подписание, к которому добавляется запись об этом процессе, не пуст. Тогда добавляемый элемент помещается в конец этого подписки.

Поскольку моделирование производится с шагом до следующего события, то в расписании опускаются шаги моделирования, несущественные с точки зрения событий, то есть такие, когда ни один процесс не должен «сработать».

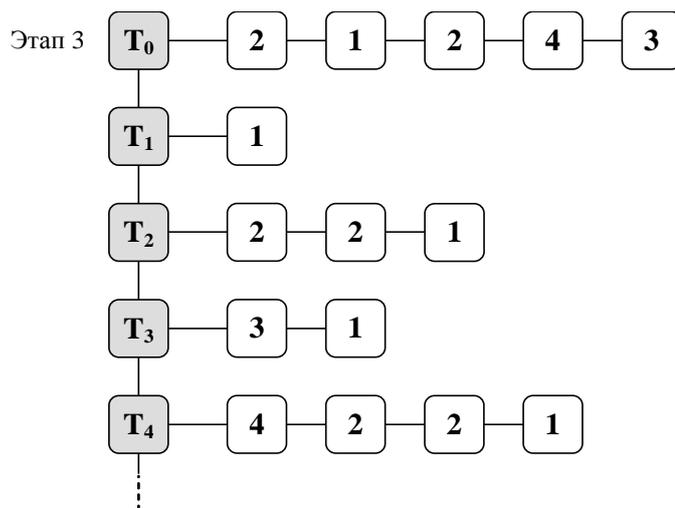


Рис. 2. Третий этап алгоритма имитации

На четвертом этапе проводится имитация для заданного интервала времени. Дальнейшее расписание заранее не формируется, а готовится в ходе имитации. Рассмотрим процесс «срабатывания» одного процесса по шагам:

- для каждого входного ресурса производится чтение значений на требуемые моменты времени;
- вызывается исполнитель процесса с передачей необходимых параметров;
- осуществляется запись значений выходных ресурсов на текущее время.

Обработка материальных ресурсов (первый и третий этапы) выполняется по особой схеме (см. ниже).

Формирование значений материальных ресурсов

В ходе имитации значение материального ресурса может меняться и процессом-производителем, и процессом-потребителем, при этом возникает сложность в корректировке значения ресурса в случае выполнения обоих процессов на одном шаге моделирования. Пусть сначала было произведено a единиц ресурса R к моменту времени t_n . Затем к этому же моменту времени t_n расходуется b единиц ресурса R . Таким образом, для корректного отображения изменения значения ресурса R во временном ряду на время t_n должно быть записано значение d , где d определяется по формуле: $d = c + a - b$, где c – начальное значение, a – произведенное количество, b – потраченное количество, d – конечное значение ресурса R , разницу $a - b$ назовем приращением значения ресурса. Для информационных и настроечных ресурсов подобной сложности не возникает, так как для таких видов ресурсов возможность их расходования не предусматривается.

Рассмотрим особенность механизма считывания значений ресурсов. Различные задержки у процессов приводят к тому, что в ходе имитации некоторые значения ресурса во временном ряду не определены. Например, для процесса с задержкой, равной 3, временной ряд будет содержать только значения на моменты времени кратные 3, в остальное время значение ресурса

будет не определено. Для исключения подобных ситуаций в текущей версии алгоритма имитации заложен следующий принцип получения значений ресурсов – если искомое значение ресурса попадает на момент времени, когда значение ресурса не определено, то берется ближайшее значение слева.

Теперь опишем механизм записи значений материальных ресурсов в двух возможных случаях (рис. 3): (а) если осуществляется запись значения ресурса на время $T2$, превышающее время $T1$ последнего значения временного ряда, то записывается полученное текущее значение плюс вычисленное приращение P (рис. 3 а); (б) если запись делается на время T , совпадающее со временем последнего значения Y временного ряда, то это значение корректируется на приращение P (рис. 3 б).

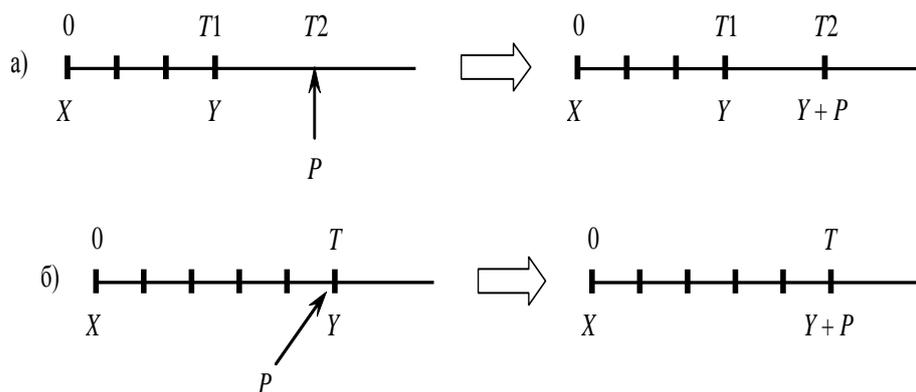


Рис. 3. Запись значения материального ресурса

Рассмотрим механизм обработки значений временных рядов УПМ для материальных ресурсов на конкретном примере. Пусть имеется процесс-производитель A и процесс-потребитель B (рис. 4). Ресурсы $R1$, $R2$ и $R3$ – материальные, дополнительно ресурсы $R1$ и $R3$ являются внешними (не имеют источника, либо приемника). Исполнители процессов A и B имеют шаг дискретизации 3 и 2 соответственно. Процесс A за условное время, равное 3, производит преобразование 60 единиц ресурса $R1$ в такое же количество единиц ресурса $R2$. Процесс B за время равное 2, преобразует все имеющееся на входе количество ресурса $R2$ в такое же количество единиц ресурса $R3$.

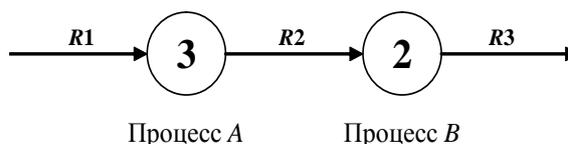


Рис. 4. Фрагмент модели преобразования материальных ресурсов

Столбец таблицы при $T=0$ содержит начальные значения ресурсов, а числа в верхней строке отражают модельное время. Процесс формирования временных рядов для ресурсов $R1$, $R2$ и $R3$ осуществляется следующим образом.

Временные ряды ресурсов R1, R2, R3, получаемые при имитации

<i>T</i>	0	1	2	3	4	5	6		
<i>R1</i>	600			540	-60		480	-60	
<i>R2</i>	0		0	-0	60	+60	60	-0	+60-60
<i>R3</i>	0		0	+0			0	+0	+60

В момент времени $t = 1$ ни один из процессов не выполняется. В момент времени $t = 2$ запускается процесс *B*: значение ресурса *R3* не изменится, так как значение *R2* при $t = 0$ равно 0, поэтому появляются записи $R2 = 0$ и $R3 = 0$ при $t = 2$. При $t = 3$ запускается процесс *A*, в результате его работы будет израсходовано 60 единиц ресурса *R1* (останется 540 единиц) и произведено такое же количество ресурса *R2* (в результате получится 60 единиц). При $t = 4$ выполняется процесс *B*: значение ресурса *R2* на время $t = 2$ не изменилось, поэтому появляются соответствующие записи при $t = 4$. Шаг при $t = 5$ пропускается, так как в это время ни один из процессов не выполняется. При $t = 6$ в результате работы процесса *A* преобразуются очередные 60 единиц ресурса *R1* в ресурс *R2*, при этом во временные ряды делаются соответствующие записи: значение ресурса *R1* при $t = 6$ становится равным 480, а значение ресурса *R2* на тот же момент времени – равным 120. Далее на этом же шаге моделирования выполняется процесс *B*: значение ресурса *R2* на время $t = 4$ равно 60, поэтому к моменту времени $t = 6$ будет произведено 60 единиц ресурса *R3*, в то же время значение ресурса *R2* должно уменьшиться на 60 израсходованных единиц. Дальнейшая имитация работы системы продолжается либо до окончания интервала моделирования, либо до выполнения условий завершения моделирования (например, полное израсходование ресурса *R1*). Несложно убедиться, что порядок обслуживания процессов, попавших на один шаг моделирования, не влияет на получаемые временные ряды.

Реализация дифференциальных уравнений в системе

Рассмотрим, каким образом в системе моделируется процесс, описываемый дифференциальным уравнением n -го порядка. Для примера возьмем дифференциальное уравнение вынужденных гармонических колебаний: $\ddot{x} + 4x = u$. Чтобы представить данное уравнение в терминах концептуальной модели приведем его к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\ddot{x} + 4x = u \quad \begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -4x + u \end{cases}$$

выберем шаг дискретизации T и запишем разностную схему для системы ОДУ:

$$\begin{cases} \frac{x_{k+T} - x_k}{T} = y_k \\ \frac{y_{k+T} - y_k}{T} = -4x_k + u_k \end{cases} \quad \begin{cases} x_{k+T} = x_k + y_k \cdot T \\ y_{k+T} = y_k + (-4x_k + u_k) \cdot T \end{cases}$$

Внешнее управляющее воздействие u будет моделироваться входным ресурсом, интересующие степени производной необходимо задать выходными ресурсами, а петлями показать обратные связи (рис. 5). Если в результате имитации необходимо получить значения производных, то для каждой из них назначается отдельный ресурс (рис. 5б), в противном случае достаточно построить схему, показанную на рис. 5а.

Для ресурса x_k (случай «а») и ресурсов x_k и y_k (случай «б») указывается тип ресурса-ссылки и назначается ресурс, на который он ссылается. Ресурс-ссылка не имеет собственного временного ряда, а использует временной ряд назначенного ресурса. В случае «а» для ресурса x_k назначается ресурс x_{k+T} , в случае «б» для ресурсов x_k и y_k назначаются x_{k+T} и y_{k+T} соответственно.

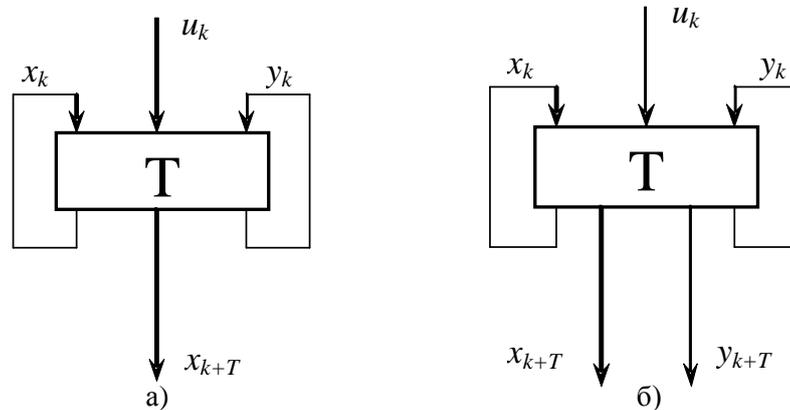


Рис. 5. Представление системы ОДУ в концептуальной модели

Для проведения имитации необходимо задать начальные условия $x(0) = x_0$, $y(0) = y_0$, $u(0) = u_0$. Тогда на момент времени T получаем значения $x_T = x_0 + y_0 \cdot T$ и $y_T = y_0 + (-4x_0 + u_0) \cdot T$.

Заключение

Для ситуационного моделирования регионального природно-промышленного комплекса разработан специализированный алгоритм, реализующий процессный способ имитации. Алгоритм предназначен для синхронизации действий, возникающих при одновременной имитации нескольких нерегулярных процессов предметной области, использующих общие материальные ресурсы. Обеспечивается возможность подключения внешних программ-исполнителей моделируемых процессов, имеющих различные шаги дискретизации, что позволяет обойтись без модификации программного кода сторонних разработчиков.

Литература

1. Максимей, И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ /И.В. Максимей. -М.: Радио и связь, 1988. – 230 с.
2. Максимей, И.В. Вопросы технологии диалогового моделирования / И.В. Максимей, В.И. Хвещук //Теория и практика имитационного моделирования сложных систем: тезисы докладов республ. науч.-тех. конф. г. Одесса, 1983. -С.4-5.
3. Максимей, И.В. Технологические возможности имитационного моделирования сетей массового обслуживания / И.В. Максимей, Ю.А. Семишин // Электронная техника. Серия «Экономика и системы управления», 1982, № 1. - С.45-50.
4. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука. -М: Мир, 1978. – 417 с.
5. Фридман, А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 436 с.
6. Фридман, О.В. Ситуационное моделирование сложных природно-технических объектов с учетом аспектов безопасности / О.В. Фридман, А.Я. Фридман // Вестник КНЦ РАН. –Апатиты: КНЦ РАН, 3/2013(14). - С.69-76.
7. Зуенко, А.А. Ситуационное моделирование промышленно-природных комплексов на основе концептуального подхода / А.А. Зуенко, Р.А. Македонов, О.В. Фридман, А.Я. Фридман // История науки и техники. - М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат». – 2014. - № 1. -С.53-68.
8. Зуенко, А.А. Интеллектуальная технология контекстно-зависимого управления промышленно-природными комплексами / А.А. Зуенко, Р.А. Македонов, О.В. Фридман, А.Я. Фридман // Труды ИСА РАН. -2013. - Т.63, вып.3. - С.20-30.

Сведения об авторах

Македонов Роман Александрович - стажер-исследователь,
e-mail: makedonov@iimm.ru

Roman A. Makedonov - trainee researcher

Зуенко Александр Анатольевич - к.т.н, научный сотрудник,
e-mail: zuenko@iimm.ru

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

Фридман Ольга Владимировна - к.т.н, старший научный сотрудник,
e-mail: ofridman@iimm.ru

Olga V. Fridman - Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher

УДК 004.89

А.А. Зуенко

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОПРОСНО-ОТВЕТНОГО ДИАЛОГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ОБУЧЕНИЯ*

Аннотация

В статье описывается подход к разработке вопросно-ответных обучающих систем на основе контролируемых языков, а также алгебраических моделей представления и обработки вопросно-ответных текстов. Модифицируемые рассуждения, моделирующие стратегию опроса учителя, формализуются с использованием математического аппарата QC-структур и опираются на отношение частичного порядка "вопрос-подвопрос".

Ключевые слова:

интеллектуальная обучающая система, вопросно-ответный текст, QC-структуры, алгебра кортежей.

A.A. Zuenko

ALGEBRAIC MODEL OF QUESTION-AND-ANSWER DIALOGUE FOR BUILDING PERSONAL TEACHING TRAJECTORY

Abstract

The paper introduces an approach to development of question-and-answer teaching systems using controlled natural languages and algebraic models to represent and process question-and-answer texts. We propose to build a personal teaching trajectory by means of a partial order relation "question-subquestion". A mathematical apparatus called QC-structures allows to formalize defeasible reasoning that models examination strategy of a teacher.

Keywords:

intelligent teaching system, question-and-answer text, QC-structures, n-tuple algebra.

Введение

В интеллектуальных обучающих системах (ИОС) можно выделить четыре части: учебный материал, обучающий модуль, модуль контроля и модуль проверки [1]. Рассмотрим лишь две последние составляющие. Модуль контроля знаний проверяет усвоение учеником материала; модуль проверки тестирует знания и умения ученика и выставляет оценку. Отделение модуля контроля знаний от модуля проверки позволяет определить, каких именно знаний не хватает ученику. Однако часто модуль контроля рассматривают не отдельно, а относят либо к модулю обучения, либо к модулю проверки.

В работах, где встречается термин «обучающие системы», в основном, можно найти идеи по построению проверяющих систем, которые в результате анализа решений определяют умения ученика [2]. Основной целью работы таких систем остается выставление оценки.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 12-07-00689-а, 14-07-00256-а).

В отличие от подобных систем, преподаватель, получив неправильный ответ на задачу, пытается выявить “пробелы” в знаниях ученика, задавая наводящие вопросы и ставя дополнительные задачи. В результате, он либо “наводит” ученика на правильный ответ, либо определяет, какое именно понятие, правило или теорему ученик не знает или не умеет применять.

По мнению автора, назначение интеллектуальной системы контроля знаний, в отличие от системы проверки, заключается в том, чтобы, аналогично реальному преподавателю, не просто оценить уровень знаний ученика, а выявить плохо усвоенные знания и выработать рекомендации по дальнейшему закреплению и изучению материала.

Выявление “пробелов” в знаниях ученика осуществляется в процессе вопросно-ответного диалога, управляемого ИОС. Важную роль в таком диалоге играет блок, имитирующий стратегии опроса, применяемые преподавателем, и позволяющий пересматривать накопленные знания об уровне подготовки обучаемого.

Ситуация усложняется, когда вопросно-ответный диалог предполагает общение на естественном языке с возможностью задания ответа в “произвольной” форме. Следует уточнить, что термин “произвольная форма ответа” не вполне корректен, поскольку предполагается, что опрашиваемый знаком с учебным материалом, т.е. погружен в контекст и, в связи с этим, дает осмысленные ответы в терминологии, близкой к терминологии учебного материала.

В настоящее время наиболее перспективным при разработке диалоговых систем, допускающих свободную форму ответов пользователя, считается подход на основе концепции CNL (Controlled Natural Language). Контролируемый язык (упрощенный задачно-методологическим контекстом естественный язык) – это версия естественного языка, созданная для выполнения определенных задач [3]. Оригинальный вариант контролируемого языка вопросно-ответного диалога на основе концептуальных грамматик предложен в [4]. Там же рассмотрена семантическая классификация вопросно-ответных текстов.

В статье предлагается подход к построению интеллектуальных обучающих систем на основе алгебраической интерпретации упомянутой модели вопросно-ответного диалога. В качестве математического аппарата для представления и анализа вопросно-ответных текстов выбраны алгебра кортежей (АК) [5, 6], а также развитие аппарата частично упорядоченных множеств – QС-структуры [7].

Сначала рассмотрим более подробно принципы построения ИОС в рамках концепции контролируемых языков.

Концепция контролируемых языков

В условиях вопросно-ответного диалога, когда активной стороной является интеллектуальная обучающая система (ИОС), контекст достаточно четко определяет круг ожидаемых возможных ответов. Смысловая типизация вопросов и семантическая классификация ответных текстов дают возможность сопоставить каждому типу вопроса ограниченный набор допустимых, т.е. логически правильных, смысловых конструкций (ответных формул). Соответственно, содержание ответа, его лексикон, форма и отчасти объем

предопределены, и пользователь с необходимостью отвечает на вопрос в определенных рамках [4]. Действительно, если вопросы формируются на основе лекционных материалов, с которыми знаком обучаемый, то становится возможным задавать даже наборы ожидаемых лексических единиц при ответе на конкретный заданный вопрос. Этот подход делает возможным построение эффективной системы проверки правильности ответа на вопрос.

Система интерпретации ЕЯ-текстов в контексте, управляемом системой [4], включает базу знаний, базу специфических грамматических конструкций, лексический процессор и семантический интерпретатор. Распознавание текста ответа включает перевод текста в каноническое представление, выбор семантической схемы эталонного ответа, сопоставление ответа и соответствующей семантической схемы.

Результат формируется в виде некоторого вектора ситуации, представляющего собой набор показателей качества ответа, который используется для управления дальнейшим диалогом.

База знаний представляет собой совокупность моделей обучающего текста, множеств тестирующих вопросов и эталонных ответов. Модель вопросов и ответов строится в автоматизированном режиме специалистом по предметной области. Предложенная в работе [8] классификация вопросов используется для построения шаблонов ответов.

Вопросы, относящиеся к первому типу, требуют явного задания в ответе ключевых параметров без учета отношений. Вопросы второго типа требуют раскрытия в ответе одного отношения, связанного с одним главным понятием. В вопросах третьего типа необходимо указать в ответе композицию фиксированного набора базовых отношений, связанных с главным понятием. Четвертый тип вопросов требует ответа в виде произвольной композиции отношений, связанных с одним понятием. В ответах на вопросы пятого типа допускается указывать несколько понятий, связанных произвольным набором отношений.

Разбиение текстов на семантические классы осуществляется на основе выявления главного (главных) понятия и отношений, связанных с этим главным понятием. Множество конкретных понятий и отношений по определенным признакам можно разбить на конечное число *типов понятий* и *типов отношений*. Согласно терминологии работы [8], такие типы называются *семантическими единицами* или *концептулами*. Каждое осмысленное предложение предметной области можно перевести в текст, составленный из типов понятий и типов отношений, т.е. семантических единиц, без детального учета грамматических признаков лексем, соотнося каждое понятие или отношение с определенным типом. Представленным выше семантическим классам ответов соответствуют присущие им схемы сочетания концептул, передающие характерный (обобщенный) смысл ответов данного класса (значений вопросов). Схемы сочетания концептул, соответствующие правильной передаче ожидаемого смысла, названы *индивидуальными концептуальными грамматиками* (ИКГ).

В данной работе нас интересует, как осуществляется построение модели (шаблона) ответа.

Модель ответа строится на основе задаваемого вопроса и представляет собой пару $\langle F, G \rangle$. G обозначает ИКГ класса ответов, соответствующего

заданному вопросу. $F = \langle L, K \rangle$ представляет собой информационную структуру, содержащую лексемы L , отражающие понятия и отношения, а также их предполагаемые роли K в ответе.

В качестве учебного примера рассмотрим следующий обучающий текст (текст лекций):

"Компилятор – это программа, которая переводит исходный текст на ЯВУ в объектный текст на ЯМК и находится в оперативной памяти. Этап компиляции включает синтаксический, лексический анализы, оптимизацию и генерацию кодов и выполняется раньше этапа загрузки, которая из объектного модуля делает загрузочный и располагает в памяти. Редактор связей записывает загрузочный модуль на диск".

Пусть задан вопрос третьего типа: "Какую функцию выполняет компилятор?" Перечислим некоторые из возможных ответов на данный вопрос [4]:

- 1) *переводит исходный текст на языке высокого уровня в объектный текст в машинных кодах;*
- 2) *получает ЯМК из ЯВУ;*
- 3) *компилятор переводит ЯВУ в ЯМК.*

Представленные ответы относятся к классу ФУНКЦИЯ. При описании грамматик ответов класса ФУНКЦИЯ используются следующие концептулы:

- SS – концептула, отражающая главное понятие;
- SA – концептула, отражающая понятие-аргумент;
- SP – концептула, отражающая понятие-результат;
- GP_A – предлог перед SA ;
- GP_P – предлог перед SP ;
- R_A – концептула, отражающая отношение SS к SA ;
- R_P – концептула, отражающая отношение SS к SP .

Формализованное представление перечисленных ответов, соответственно, имеет вид:

- 1) $R_A \rightarrow SA \rightarrow GP_P \rightarrow SP$;
- 2) $R_P \rightarrow SP \rightarrow GP_A \rightarrow SA$;
- 3) $SS \rightarrow R_A \rightarrow SA \rightarrow GP_P \rightarrow SP$.

Здесь отношение "переводит" есть R_A , отношение "получает" – R_P , понятия "текст на языке высокого уровня", "ЯВУ" – SA , "текст в машинных кодах", "ЯМК" – SP , предлог "из" – GP_A ; предлог "в" – GP_P , понятие "компилятор" – SS . Стрелки отображают цепочку следования концептул в предложении.

Множество подобных формул, описывающих порядок следования и роли лексем, образуют ИКГ. Информационная структура F представляется в следующем виде:

ОТВЕТ: КЛАСС = ФУНКЦИЯ

$F : SS =$ *компилятор, транслятор*; $R_A =$ *переводит, преобразует*; $R_P =$ *получает*; $SA =$ *текст на языке высокого уровня, ЯВУ*; $SP =$ *текст в машинных кодах, программа на ЯМК, ЯМК.*

Здесь перечислены лексемы (L), например "компилятор", и их семантические роли в предложении (K), например, концептула "SS".

Далее для удобства представления подобные структуры будем записывать в виде таблиц (табл. 1).

Таблица 1

Класс ответа “Функция”

ОТВЕТ: КЛАСС = ФУНКЦИЯ{

<i>SS</i>	<i>R_A</i>	<i>R_P</i>	<i>SA</i>	<i>SP</i>
{компилятор, транслятор}	{переводит, преобразует}	{получает}	{текст на языке высокого уровня, ЯВУ}	{текст в машинных кодах, программа на ЯМК, ЯМК}

}// КОНЕЦ ОТВЕТ КЛАСС = ФУНКЦИЯ

В данном случае информационная структура F представлена в виде декартова произведения множеств значений концептул. В более общем случае, когда требуется учесть еще и сочетаемость лексем, выступающих в качестве значений концептул, информационная структура F может быть записана в виде системы многоместных отношений.

Для моделирования и обработки типовых структур знаний, используемых в вопросно-ответных компонентах ИОС, предлагается применить алгебру кортежей [5, 9]. В частности, шаблоны ответов компактно записываются в виде S -систем.

Далее приводится решение задачи автоматизации контроля знаний обучаемого.

Модель вопросно-ответного диалога на основе структур алгебры кортежей

Система, осуществляющая контроль знаний, относится к открытым системам, способным пополнять свои знания и изменять построенные ранее выводы при изменении ситуации, реально отражая картину обучения. Для формализации рассуждений в системах такого типа применяют аргументацию.

Учитель, опрашивая ученика, обычно имеет некоторую последовательность вопросов, в случае неправильного ответа на один из них задаются подвопросы, помогающие выявить пробелы в знаниях обучаемого. Опрос длится до тех пор, пока учитель не получит достаточно аргументов для обоснования своего решения об уровне знаний обучаемого и/или выработки рекомендаций по дополнительному изучению материала.

Введем на множестве вопросов отношение подчинения S , смысл которого заключается в следующем: x подчинен y , если для правильного ответа на вопрос y требуется знание верного ответа на вопрос x . Допустим, имеются вопросы с введенным на них отношением подчинения:

- R1. Что Вы знаете о компиляторе и процессе компиляции? (Вопрос 5 типа).
- R2. Дайте определение компилятора? (Вопрос 4 типа).
- R3. Где находится компилятор? (Вопрос 2 типа).
- R4. Какую функцию выполняет компилятор? (Вопрос 3 типа).
- R5. Для чего служит оперативная память ПК? (Вопрос 3 типа).

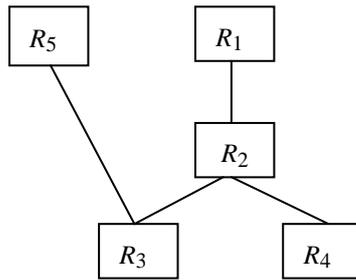


Рис. 1. Графическое представление множества вопросов

Из рис. 1 видно, что вопросы, чей тип сложнее, доминируют над вопросами более простых типов. Например, вопрос R_2 четвертого типа доминирует над вопросом R_4 третьего типа.

Согласно [8], каждому вопросу сопоставляется модель ответа, из которой нас далее будет интересовать информационная структура F . Модели ответов для подвопросов содержат лишь часть отношений, предусмотренных самими вопросами. Это можно увидеть, сравнивая модели ответов на вопросы R_2 и R_4 .

Модель ответа для вопроса R_4 мы уже рассмотрели в предыдущем разделе. Вопросу R_2 на основе приведенного выше текста лекций может быть сопоставлена такая модель ответа (табл. 2).

Таблица 2

Класс ответа “Определение”

ОТВЕТ КЛАСС = ОПРЕДЕЛЕНИЕ{

SS (главное понятие)	$S_{оп}$ (более общее понятие, чем главное)
{компилятор, транслятор}	{программа}

КЛАСС = ФУНКЦИЯ

R_A	R_P	SA	SP
{переводит, преобразует}	{получает}	{текст на языке высокого уровня, ЯВУ}	{текст в машинных кодах, программа на ЯМК, ЯМК}

КЛАСС = ПРО

SO	R_{so}	R_{os}
{оперативная память}	{находится, содержится}	{содержит}

}// КОНЕЦ ОТВЕТ КЛАСС = ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

Соединение всех трех отношений, записанных в виде таблиц, и формирует АК-объект, задающий модель ответа на вопрос R_2 .

Основными процедурами аргументации являются процедуры определения истинностных оценок утверждений по соответствующим им множествам аргументов. Множество высказываний и соответствующих аргументов задается как контекст $K=(V, A, I)$, где V – множество высказываний, A – множество аргументов, I – отношение на множестве $V \times A$, такое что pIa^σ , где $p \in V$, $a^\sigma \in A$, $\sigma \in \{+, -\}$, тогда и только тогда, когда a^σ есть аргумент высказывания p [1].

В качестве элементарных высказываний при построении логики аргументации рассматриваются утверждения вида: “учащийся знает ответ на данный вопрос”. Если правильные ответы трактовать как аргументы “за” подобные утверждения, а неправильные как аргументы “против”, то отношение S на множестве вопросов позволяет строить логику аргументации с упорядоченным множеством аргументов.

Пусть с вопросом R_i связано высказывание p_i (“учащийся знает ответ на i -ый вопрос”), а Q_j вопросу сопоставлено высказывание q_j (“учащийся знает ответ на j -ый вопрос”). Тогда при выполнении соотношения $A_i \subseteq_G A_j$ (согласно принятой сегментации вопросно-ответного текста, данное соотношение всегда выполняется, если для вопросов R_i и Q_j верно, что R_i доминирует Q_j) можно утверждать, что $V[(p_i \rightarrow q_j)] = 1$ (V – функция оценивания).

Если модель ответа включает не только образцы правильных ответов, но запрещает некоторые ответы или отдельные лексемы, то каждому утверждению p_i , помимо АК-объекта A_i , может быть сопоставлен АК-объект B_i , описывающий запрещенные ответы. В терминологии работы [10] АК-объект A_i для высказывания p_i задает область значений функции g^+ , а АК-объект B_i – область значений функции g^- .

Анализ множеств аргументов позволяет выявлять причинно-следственные связи предметной области. Эта возможность обусловлена определением импликации в логике аргументации. Достаточным условием истинности импликаций является выполнение следующих условий [10]:

Если

$$g^+(p) \subseteq g^+(q) \text{ и } g^-(q) \subseteq g^-(p), \text{ то } V[(p \rightarrow q)] = 1;$$

$$g^+(p) \subseteq g^-(q) \text{ и } g^+(q) \subseteq g^-(p), \text{ то } V[(p \rightarrow \neg q)] = 1.$$

На основе анализа множества аргументов можно получать два вида утверждений $p \rightarrow q$ и $p \rightarrow \neg q$. Выявление и устранение коллизий (понятие коллизия здесь используется как обобщение понятий атака аргумента, подрыв аргумента и т.п.) в системах рассуждений такого типа предлагается выполнять на основе аппарата QC -структур [7].

Рассмотрим один из возможных сценариев реализации процесса контроля с использованием упомянутых средств логического анализа, когда проверка начинается с самого сложного вопроса (рис. 1). Предположим, ученик неправильно ответил на вопрос R_1 . В этом случае система задает ему вопрос R_2 . Если на него обучающийся ответил неправильно, то система задает вопрос R_3 . Если на вопрос R_4 получен правильный ответ, то ученику повторно задается вопрос R_3 . Если на вопрос R_3 получен правильный ответ, то предлагается снова ответить на вопрос R_2 , а также предлагается вопрос R_5 . В случае правильных ответов на данные вопросы предлагается снова ответить на вопрос R_1 .

Заключение

Автором предложены алгебраические модели представления и обработки вопросно-ответных текстов, предназначенные для решения задачи контроля знаний обучаемого. Разработанные модели открыты для пополнения знаний. Они позволяют осуществлять контроль и формировать индивидуальную траекторию обучения с помощью процедур аргументации.

Литература

1. Таран, Т.А. Аргументационная система контроля знаний / Т.А. Таран, А.И. Ривкинд // *Новости искусственного интеллекта*. -2001. -№ 5-6. -С.12-18.
2. Денисова, И.Ю. Математические модели онтологии базы данных информационной обучающей системы / И.Ю. Денисова, П.П. Макарычев // *Онтология проектирования*. – 2012. -№ 3. – С.62-78.
3. Jonathan Pool. Can controlled languages scale to the Web? // *In Proceedings of the 5th International Workshop on Controlled Language Applications (CLAW 2006)*, 2006.
4. Сулейманов, Д.Ш. Двухуровневый лингвистический процессор ответных текстов на естественном языке / Д.Ш. Сулейманов // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): материалы Международной научн.-техн. конф. г. Минск, 10-12 февраля 2011 г.* – Минск: БГУИР, 2011. – С.311-322.
5. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. - 235 с.
6. Зуенко, А.А. Унификация обработки данных и знаний на основе общей теории множественных отношений / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2010. –№3. – С.52-62.
7. Кулик, Б.А. Логика естественных рассуждений / Б.А. Кулик. – СПб.: Невский Диалект. -2001. - 128 с.
8. Сулейманов Д.Ш. Системы и информационные технологии обработки естественно-языковых текстов на основе прагматически-ориентированных лингвистических моделей: дис. д-ра техн. наук: 05.13.14 / Сулейманов Джавдет Шевкетович. – Казань, 2000. - 336 с.
9. Boris Kulik, Alexander Fridman, Alexander Zuenko. Logical Inference and Defeasible Reasoning in N-tuple Algebra. In: “Diagnostic Test Approaches to Machine Learning and Commonsense Reasoning Systems”, IGI Global. -P.102-128.
10. Финн, В.К. Об одном варианте логики аргументации // В.К. Финн. -НТИ: сер.2. -1996. –№ 5-6. – С.3-19.

Сведения об авторе

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

e-mail: zuenko@iimm.ru

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

УДК 004.832

А.А. Зуенко^{1,2}, А.А. Алмаатов¹

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ПРОГРАММИРОВАНИЕ В ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ЯЗЫКЕ PYTHON С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУКТУР И АЛГОРИТМОВ АЛГЕБРЫ КОРТЕЖЕЙ*

Аннотация

В статье рассмотрены особенности существующих подходов к решению задач удовлетворения ограничений. Для решения подобных задач авторами предлагается применять методы локального поиска на основе анализа структур алгебры кортежей. Приводится сравнение предыдущей версии библиотеки алгоритмов алгебры кортежей, реализованной на языке C++, и текущей версии библиотеки, разработанной на языке Python. Описаны преимущества использования интерпретируемых языков для создания среды программирования в ограничениях, представимых в структурах алгебры кортежей.

Ключевые слова:

программирование в ограничениях, алгебра кортежей, методы локального поиска, интерпретируемый язык программирования.

A.A. Zuenko, A.A. Almatov

CONSTRAINT PROGRAMMING BASED ON USING LANGUAGE PYTHON AND PROPOSED STRUCTURES AND ALGORITHMS OF N-TUPLE ALGEBRA

Abstract

The article describes the features of the existing approaches to solving constraint satisfaction problems. To solve these problems the authors propose to use local search methods based on the analysis of the n-tuple algebra structures. The comparison of the previous version of the library of n-tuple algebra algorithms, implemented in C ++, and the current version of the library, developed in Python, is given. The advantages of using interpreted languages for creating an environment of constraint programming that can be represented in the n-tuple algebra structures is considered.

Keywords:

constraint programming, n-tuple algebra, local search methods, interpreted programming language.

Введение

Задача удовлетворения ограничений (CSP) – это тройка (V, D, C) , где

- (1) $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – множество переменных;
- (2) $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ – множество доменов; каждый домен D_i – конечное множество, содержащее возможные значения, соответствующей переменной;
- (3) $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ – множество ограничений.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№12-07-00550-а, 14-07-00205-а, 14-07-00256-а).

Ограничение C – отношение, определённое на подмножестве значений всех переменных, т.е. $C_i \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$.

Заданная (частичная или полная) подстановка значений переменных удовлетворяет ограничению C_i , если каждая переменная получила такое значение, что соответствующий кортеж значений принадлежит C_i . Множество всевозможных подстановок для всех переменных является пространством, содержащим решение CSP-задачи.

Решением CSP-задачи является такая подстановка для всех переменных, при которой все ограничения удовлетворены. Если для некоторой задачи имеется, по крайней мере, одно решение, то задача является *разрешимой*, иначе – *неразрешимой* (противоречивой, переограниченной).

В некоторых случаях необходимо получить все решения. Иногда может быть сформулирована задача ограниченной оптимизации, а именно: найти такое решение, в котором значения переменных оптимизировали бы некоторый заданный функционал. Зачастую необходимо просто выяснить, разрешима ли задача. В любом случае, CSP-задачи принадлежат классу NP-полных задач [1].

В качестве известных примеров задачи удовлетворения ограничений можно привести [2]:

- задача о раскраске карты;
- задача о назначениях;
- задача составления расписаний;
- задачи транспортного планирования;
- задачи комбинаторной оптимизации.

Существует два основных подхода к решению задач удовлетворения ограничений. Первый подход основан на методах систематического перебора решений. При этом перебор можно представить как обход дерева поиска, а путь до каждого листового узла описывается одним кортежем значений переменных.

Следует отметить две отличительные черты такого подхода:

1. При существовании решений задачи они будут гарантированно найдены, в противном случае будет установлена неразрешимость задачи.
2. Процедуры обхода дерева поиска обладают экспоненциальной сложностью, что делает задачу практически не решаемой без применения специализированных методов ускорения перебора.

Существуют также модификации методов обхода дерева в глубину, позволяющие сузить область поиска:

1. Методы распространения ограничений, которые отсекают некоторые ветви дерева поиска, заведомо не удовлетворяющие условиям задачи. Это позволяет значительно сократить количество перебираемых вариантов. Однако сам способ отсечения ветвей сильно зависит от конкретной задачи и не гарантирует увеличения эффективности перебора в общем случае.

2. Методы декомпозиции, осуществляющие разбиение задачи на несколько подзадач при условии, что комбинация их решений является решением исходной задачи. Как и в случае с распространением ограничений, есть сильная зависимость от специфики задачи.

Альтернативный подход основан на методах локального поиска – вместо систематического перебора всех возможных вариантов, выбор преемника текущего состояния задачи поиска зависит только от самого этого состояния. В

отличие от методов систематического перебора методы локального поиска обладают следующими преимуществами:

- сравнительно низкой вычислительной сложностью относительно числа переменных;
- при незначительном изменении условий уже решённой задачи можно использовать полученное для неё решение в качестве отправной точки для поиска новых решений;
- алгоритмы подобного класса, как правило, легко поддаются распараллеливанию.

К недостаткам методов данного класса относится то, что они могут не найти решение CSP даже при его существовании, или найти лишь локальный экстремум оптимизируемой функции. Дело в том, что в пространстве состояний могут встречаться области, для которых нельзя выбрать преемника текущего состояния (соседнее состояние), улучшающего значение функции оценки. К таким областям можно отнести плато (участки пространства поиска, на которых функция оценки не изменяется) и хребты (последовательности близко расположенных локальных максимумов).

К алгоритмам локального поиска относятся:

- генетические алгоритмы;
- алгоритмы лучевого поиска;
- роевой интеллект: муравьиный алгоритм, пчелиный алгоритм, метод роя частиц и др.;
- стохастические методы (имитация отжига).

В публикациях [3-5] описаны разработанные одним из авторов методы распространения ограничений и эвристического поиска, ориентированные на систематический поиск решений и использующие матрицеподобные структуры алгебры кортежей (АК). Алгебра кортежей – алгебраическая система, предназначенная для моделирования и анализа многоместных отношений, с ее помощью удобно анализировать ограничения с конечными доменами. Поиск на основе этих методов, в отличие от методов полного перебора, состоит из последовательности таких шагов, как а) редукция пространства поиска и б) выбор на основе эвристик того преемника текущей вершины дерева поиска, который способен быстрее всего привести к цели. Созданные методы поиска позволили на практике эффективно решать многие задачи CSP, имеющие высокую вычислительную сложность в теории.

Базовые структуры, операции и алгоритмы АК, использующие концепцию дерева поиска, реализованы в виде специализированной программной библиотеки [6]. При её создании был применен язык программирования C++ и RAD C++ Builder 6.

Далее в настоящей работе подробно рассматриваются недостатки упомянутой библиотеки, и предлагается подход к созданию среды для программирования задач удовлетворения ограничений в терминах АК, свободной от подобных недостатков и поддерживающей методы локального поиска, а также отвечающей современным требованиям к свободно распространяемому программному обеспечению.

Недостатки существующей библиотеки для работы с АК-объектами

Ранее разработанная библиотека продемонстрировала, что алгоритмы обработки АК-объектов могут эффективно выполняться на компьютерах [6]. Также при её создании была продумана общая архитектура программы; проанализированы структуры данных, пригодные для представления ключевых понятий АК; общий порядок работы с данными.

Несмотря на то, что данная программная система полностью работоспособна, её сопровождение, модификация и интеграция с другим программным обеспечением (ПО) сильно осложнены. Причиной этому послужили отчасти парадигмы самого языка C++, которые задавали архитектуру программы, а также используемый подход к разработке с ориентацией на использование собственного интерпретатора выражений для ввода и разбора команд.

В предыдущей версии библиотеки не поддерживались такие конструкции, как циклы, ветвления, отсутствовала возможность создавать пользовательские типы данных, описывать процедуры и функции на основе базовых функций, реализующих операции с АК-объектами. Обработка большого количества однотипных объектов осуществлялась с помощью отдельного класса, представляющего одномерный массив, доступ к его элементам осуществлялся с помощью единственного оператора – получения элемента по индексу. Для имитации циклической обработки элементов массива имелся фиксированный набор функций.

Графический интерфейс упомянутой библиотеки позволял исполнять операции с АК-объектами в интерактивном режиме, для чего был разработан собственный интерпретатор выражений, содержащих базовые операции с АК-объектами. Каждая базовая операция, как и все другие элементы АК-программы, была представлена отдельным классом на языке C++. Для использования вновь введенной операции в АК-программе требовалось изменить программный код парсера выражений с последующей перекомпиляцией программы. Ввиду сложности внутреннего устройства парсера выражений, процесс его модификации был крайне трудоёмким, даже, несмотря на использование сторонних библиотек (например, `boost.regex`) для разбора сложных выражений.

Так же обстояла ситуация и с введением в систему пользовательских типов данных – требовалась модификация кода программы с ее последующей компиляцией и отладкой. В частности, для работы с доменами использовался класс `AkDomain`, и все возможные виды доменов, содержащих целые, вещественные, строковые значения, описывались как потомки этого класса. Потомки класса `AkDomain` создавались посредством спецификации определенного класса-шаблона C++. При этом отсутствовала возможность определить в классах-потомках методы, специфичные для различных доменов (например, разбиение интервального домена, которое приходилось выполнять вне класса с помощью сторонних функций). Такой подход не позволял хранить разнотипные данные в пределах одного домена.

Использование собственного интерпретатора команд среды разработки АК-программ привело к тому, что большая часть деталей внутренней реализации классов оказалась неотделима от реализации самого оконного

интерфейса – в ряде случаев библиотека использует данные, хранящиеся в экземплярах класса интерфейса. Это накладывает большие ограничения на доработку и использование библиотеки, а также лишает библиотеку кроссплатформенности и усложняет разработку версий с другими режимами работы (неинтерактивный режим, работа с использованием удалённых вызовов).

Входные данные для работы библиотеки и результаты выполнения алгоритмов АК могут передаваться с помощью: а) графического интерфейса; б) xml-файлов, где хранится АК-программа и необходимые ей данные; с) СОМ-вызовов от других программ или скриптов.

К недостаткам реализации библиотеки можно отнести и отсутствие команд управления памятью: не поддерживается возможность освобождения памяти от неиспользуемых объектов.

Среди менее существенных недостатков, не являющихся непосредственно следствием архитектуры, можно выделить следующие:

1. *Слабо мотивированный выбор структур данных для хранения объектов.* В исходной программе для хранения АК-объектов использовался контейнер типа «список». При этом хранящейся объекты имеют строковый идентификатор, представляющий собой название переменной, а основными операциями со списком служат: итерация, поиск элемента по ключу, удаление/добавление элемента по ключу. Данные с таким набором базовых операций предпочтительно хранить в словарях со строковым ключом или деревьях.

2. *Преобразование объектов в строковый вид.* Программный пользовательский интерфейс библиотеки позволял генерировать для объектов АК-программ собственное представление, используя html-код, а также mathml-код. Однако формировались эти представления путем конкатенации строк, представляющих подобъекты рассматриваемых объектов, с использованием множества вложенных циклов. Такой подход делает данные функции неудобными для редактирования и трудными для чтения, а также жестко ограничивает способы представления результатов.

3. *Отсутствие возможности выбрать режимы просмотра результатов.* Командный процессор создаёт текстовое представление для результата выполнения любого выражения, даже если данное значение является промежуточным и не нуждается в визуализации.

Таким образом, дальнейшее развитие данной версии библиотеки для работы с АК-объектами сильно осложнено, и целесообразно рассмотреть возможность переписывания функций, методов, классов с использованием другого языка программирования, парадигмы которого будут больше подходить для создания среды разработки АК-программ.

Требования к разрабатываемой среде программирования в ограничениях

Для языка программирования в ограничениях крайне желательно наличие возможности интерактивного взаимодействия, которое может осуществляться как в “консольном” и “безоконном” режимах, так и с помощью более сложного графического интерфейса, возможно, удалённо и/или распределено.

Чтобы максимально упростить структуру классов библиотеки, необходима поддержка объектно-ориентированного программирования (ООП). Реализуемые с помощью библиотеки алгоритмы имеют перспективы в области использования параллельных вычислений, поэтому преимуществом будет наличие средств для работы с различными моделями распределённых вычислений.

Также желательна поддержка в языке элементов функционального программирования (ФП) – парадигмы программирования, где процесс вычислений трактуется как вычисление значений математических функций. Наибольший интерес представляют функции, принимающие в качестве аргументов или возвращающие другие функции. Возможности ФП, связаны с оптимизацией и распараллеливанием вычислений.

Кроме того, приветствуется наличие в программном пакете научных библиотек для алгоритмов локального поиска и других методов решения задач удовлетворения ограничений.

С точки зрения авторов наиболее отвечают предъявляемым требованиям такие языки программирования, как:

- а) Lua – интерпретируемый язык программирования близкий к JavaScript;
- б) язык среды Matlab – язык среды для выполнения технических вычислений и также используемый в ней язык;
- с) R – язык программирования, используемый для научных и статистических расчётов;
- д) Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения.

В таблице представлена сравнительная характеристика проанализированных языков программирования.

Сравнение параметров рассматриваемых языков

Язык	lua	R	Matlab	Python
Интерпретируемость	Да	Да	Да	Да
Поддержка ООП	Да	Да	Да	Да
Доступ к низкоуровневым структурам данных	Да	Нет	Нет	API для встраивания C-функций в программу
Средства для сетевого взаимодействия	Нет	В составе некоторых внешних библиотек	Интерфейсы для наиболее распространённых средств	Средства веб-разработки и поддержка известных протоколов
Средства для распределённых и многопоточных вычислений	Нет	Да	Да	Да
Элементы функционального программирования	Нет	Да	Да	Да

окончание таблицы				
Большое количество вспомогательных библиотек	Нет	Да	Да	Да
Тип лицензии	Свободное ПО (Лицензия MIT)	Свободное ПО (GNU GPL)	Проприетарное ПО	Свободное ПО (PSFL)

С учетом перечисленных характеристик и их приоритетов для разработки среды для работы с АК-объектами было решено использовать язык Python.

Возможности языка Python

В программе на языке Python [7, 8] любая сущность представлена специальным классом, и любой используемый в программе объект представлен его экземпляром. Фактически имеется большое сходство с подходом, применяемом в C++.

Для работы с программами доступны несколько режимов работы [9]:

- *Интерактивный режим (режим диалога)*. В данном случае интерпретатор обрабатывает, как команды, строки, вводимые пользователем.
- *Выполнение инструкций из файла*. Интерпретатор обрабатывает команды, содержащиеся в переданном файле. Программы могут быть как обычными скриптами, так и работающими в фоновом режиме процессами.

В программах на языке Python можно использовать функции, написанные на C, что оказывается полезным для ускорения низкоуровневых операций [10].

Python обладает средствами функционального программирования: генераторы, итераторы, встроенные функции (map, reduce, filter, apply).

Существуют библиотеки для распределённых/параллельных вычислений с использованием языка Python. Также написано множество фреймворков для работы с кластерами, облачными сервисами, grid-сетями.

Имеются библиотеки и встроенные средства для осуществления сетевого взаимодействия, удалённого запуска и вызова функций (RPC). Существуют библиотеки и фреймворки как для синхронного, так и для асинхронного режимов работы. Поддерживается взаимодействие между клиент-серверными приложениями с использованием сокетов, интерфейсов COM, имеется встроенная библиотека с реализацией RPC, большое количество высокоуровневых протоколов.

Доступны библиотеки для поддержки научных расчетов на языке Python, обработки различных типов данных, визуализации полученных результатов [11]. Из наиболее известных библиотек можно перечислить следующие:

- NumPy – библиотека для обработки больших объемов данных, представленных, как правило, в виде больших матриц и массивов. Частично написана на C для повышения производительности работы алгоритмов.
- SciPy – библиотека, объединяющая инструменты для научных вычислений, в частности средства для интегрирования и интерполяции функций, обработки изображений, решения дифференциальных уравнений, генетические алгоритмы и пр.

- Matplotlib – библиотека для визуализации данных, поддерживает возможность отображать данные в различных графических форматах. Обычно идёт в связке с NumPy и SciPy.

- Pandas – многоцелевая высокопроизводительная библиотека, используемая для моделирования и анализа данных. Библиотека ориентирована на работу с разнородными форматами данных.

- SymPy – библиотека для символьных вычислений. Применяется для решения уравнений, интегрирования, дифференцирования, комбинаторных задач, дискретных задач, физических уравнений и т. д.

- IPython – интерактивная оболочка для языка Python. Предоставляет больше возможностей по сравнению со стандартным терминалом Python. Имеет несколько вариантов интерфейсов, в т.ч. с использованием веб-браузера. Поддерживает вывод графических данных непосредственно в терминал, также может использоваться для управления параллельными вычислительными кластерами [7].

- Python(x, y) – научное ПО, включающее в себя интерпретатор Python и множество библиотек для научных вычислений. Содержит модули для визуализации данных, машинного обучения, численных вычислений и т. д.

- Spyder – среда для разработки программ на языке Python и выполнения научных вычислений. Включает в себя встроенную документацию, отладчик, консоль IPython, средства графического ввода и просмотра данных. Поддерживает оперативный поиск ошибок.

Далее перечислим некоторые библиотеки, разработанные для решения задач удовлетворения ограничений на языке Python:

- пакет библиотек logilab имеет модуль constraint, использующийся для решения задач программирования в ограничениях;

- ПО Cassowary constraint solver для решения задач программирования в ограничениях имеет интерфейс для Python.

Теперь назовем библиотеки, позволяющие создавать генетические алгоритмы и методы локального поиска:

- Pygene – библиотека для работы с генетическими алгоритмами и методами генетического программирования. Позволяет гибко настраивать механизмы мутаций, наследования свойств, величины популяции, появления полностью случайных конфигураций генов.

- DEAP – библиотека для выполнения эволюционных вычислений. Используется, как правило, для быстрого прототипирования. Поддерживает много вариаций генетических алгоритмов, таких как NSGA-II, SPEA-II, CMA-ES. Кроме генетических алгоритмов предоставляются алгоритмы роевого типа, алгоритмы стохастической оптимизации и др. [12].

- Pyevolve – быстрый расширяемый фреймворк для генетического программирования. Поддерживает графический вывод результатов.

В языке Python существует множество IDE (Integrated Development Environment – интегрированная среда разработки) для разработки приложений с возможностями редактировать, выполнять, тестировать и отлаживать код. В качестве примеров можно привести Eclipse (с использованием плагина pydev), IDLE, Eric, PyCharm, Visual Studio (с использованием Python tools).

Таким образом, в языке Python имеется множество специализированных инструментов для решения задач удовлетворения ограничений, что освобождает от необходимости разрабатывать собственную среду программирования в ограничениях. Для поддержки возможности обработки ограничений с конечными доменами авторами было принято решение дополнить стандартизированные средства языка Python дополнительными возможностями вывода на ограничениях с использованием АК-объектов.

Особенности реализации разрабатываемой среды программирования в ограничениях

Для использования в программе возможностей разработанной библиотеки её необходимо подключить с помощью команды `import`. После этого становятся доступными классы для создания АК-объектов и функции работы с ними.

Ниже приводится пример кода для создания АК-объектов средствами рассматриваемой библиотеки:

```
import АК
dom1 = АК.domain([1, 2, 3]) #создание домена с помощью списка чисел;
attr1 = АК.attribute(dom1) #атрибут, основанный на домене;
attr2 = АК.attribute(dom1) #второй атрибут, основанный на домене;
scm = АК.scheme([attr1, attr2]) #схема;
sys1 = АК.csystem(scm).
```

Хранение переменных можно осуществлять как в переменных поставляемой среды разработки программ на языке Python, так и внутри спроектированного авторами класса `АК.main`. Несмотря на то, что в новой версии отсутствует необходимость использования специального класса-контейнера для АК-объектов, `акmain` по-прежнему выполняет ряд важных функций: сериализацию, десериализацию, группировку объектов для их последующего использования во внешних модулях.

Ниже приведён пример работы с АК-объектами с применением экземпляра класса `акmain`:

```
import АК
АКМ = АК.main()
АКМ['D1'] = АК.domain(range(20))
#range(20) – автоматическая генерация чисел в диапазоне от 0 до 19
АКМ['D2'] = АК.domain('abcdef')
#Строка является итерируемым объектом, поэтому её передача
эквивалентна передаче списка отдельных символов, из которых она состоит
АКМ['A1'] = АК.attribute(АКМ['D1'])
АКМ['A2'] = АК.attribute(АКМ['D2'])
АКМ['U1'] = АК.scheme([АКМ['A1'], АКМ['A2']])
result = АКМ.html() #Получение строки с html-кодом всех созданных
объектов.
```

Библиотека состоит из перечисленных ниже программных модулей:

- `акrandom.py` – модуль библиотеки, используемый для генерации АК-объектов с их автоматическим заполнением;
- `attribute.py` – модуль, содержащий реализацию класса для атрибута АК-объекта;

- chances.py – классы AttributeChances и SchemeChances для вероятностных пространств;
- com.py – модуль, предоставляющий доступ к СОМ-интерфейсу и требующий для функционирования отдельно установленной библиотеки (pywin);
- component.py – реализация класса, компоненты АК-объекта;
- domain.py – реализация класса для АК-домена;
- fetch.py – вспомогательные функции для работы с переменными;
- main.py – реализация класса akmain;
- row.py – класс для представления АК-систем в виде строки;
- scheme.py – реализация класса для представления АК-схемы;
- templates.py – шаблоны, используемые для генерации html-представления АК-объектов;
- viewer.py – просмотрщик АК-объектов на GTK, который требует для работы отдельно установленной библиотеки (pygtk).

На рис.1. представлена диаграмма классов спроектированной на языке Python библиотеки.

Библиотека снабжена специализированным графическим интерфейсом для редактирования АК-объектов с помощью gtk-виджетов. Потребность в нём вызвана, прежде всего, тем, что консоль Python предоставляет достаточно слабые средства интерактивного взаимодействия с пользователем.

Далее приведем основные отличия в реализации базовых классов разработанной библиотеки от предыдущей версии.

Класс “Домен”. Конструктор класса “Домен” принимает в качестве одного из аргументов любой поддерживающий итерацию объект-список, где перечислены используемые значения. В текущей версии библиотеки не разрешается изменять содержимое данного списка. Таким образом, исключена возможность редактирования (добавления и удаления элемента) уже созданного домена.

Благодаря использованию универсального контейнера спискового типа данный класс можно использовать для представления любого типа доменов. Также для специфических наборов данных присутствует возможность создания потомков класса, для которых могут быть определены дополнительные методы (например, методы квантования для интервальных доменов).

Класс “Атрибут”. Отсутствуют значимые изменения.

Класс “Схема”. Как и для класса “Домен”, в новой версии для класса “Схема” запрещено редактирование его содержимого в ходе исполнения программы. Конструктор класса принимает в качестве аргумента любой поддерживающий итерацию объект, содержащий список атрибутов данной схемы.

Класс “АК-кортеж”. В текущую реализацию библиотеки добавлен специализированный класс для обработки кортежей АК-объектов.

Класс “АК-объект”. Все операции над АК-объектами реализованы в виде перегруженных операторов языка Python. Таким образом, благодаря использованию возможностей поставляемого интерпретатора языка Python, отпадает необходимость в поддержке отдельно реализованного разбора выражений.

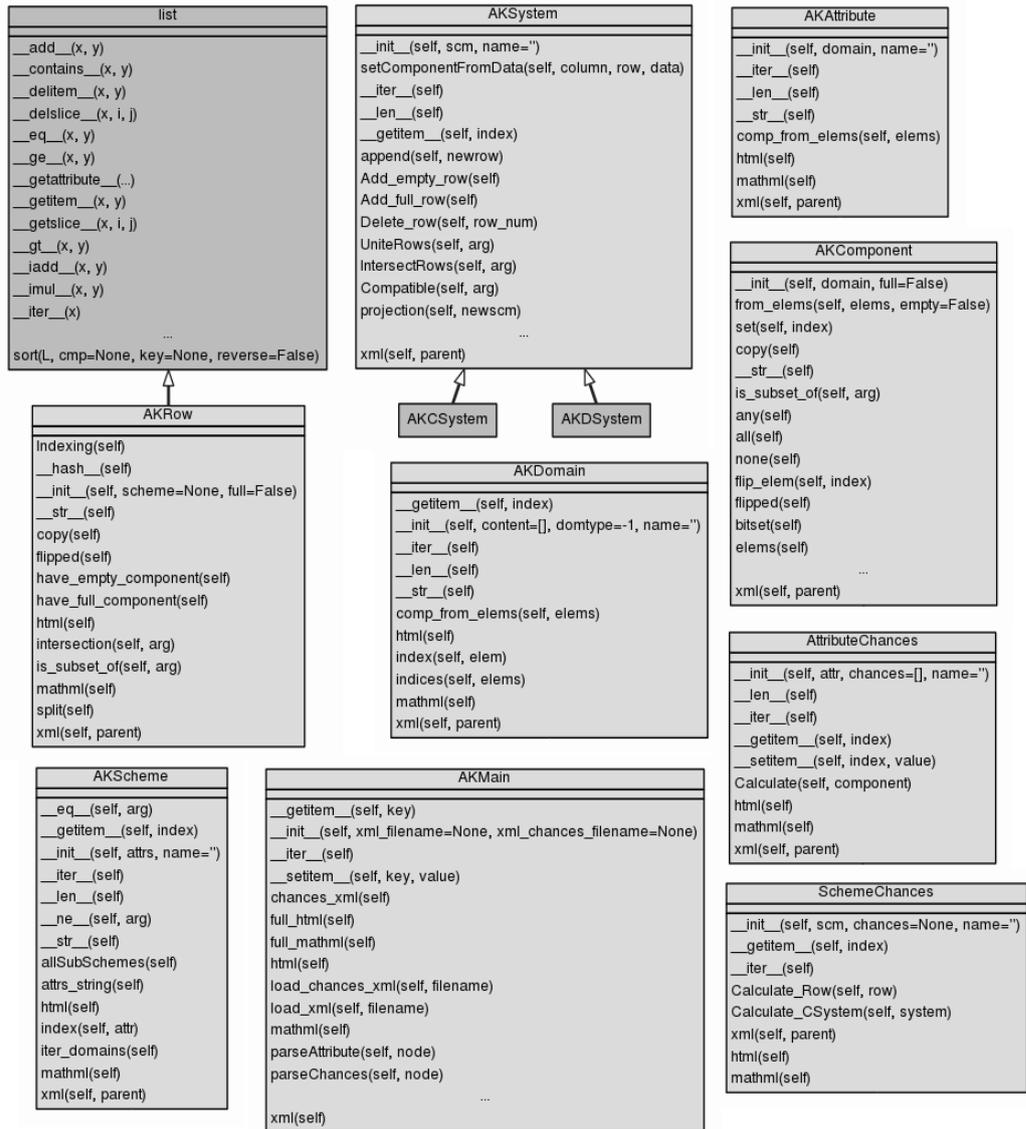


Рис. 1. Структура используемых в библиотеке классов

Класс “Компонента АК-объекта”. Хранение в данном классе битового кортежа, моделирующего подмножество значений домена некоторого атрибута, реализовано с помощью длинных целых чисел. Например, компонента, бинарное представление которой записывается как вектор “101”, будет храниться в виде числа 5. Операции пересечения и объединения выполняются с помощью побитовых операций над числами, поддерживаемых в Python.

Реализация операций с АК-объектами. Несмотря на использование перегруженных операторов языка Python, базовые операции АК были также реализованы с помощью отдельных методов класса АК-систем. Это обеспечивает возможность импорта выражений из XML-файлов, проверки типов результатов выражений до непосредственного выполнения вычислений, а также предоставляет возможность организовывать ленивые вычисления.

Класс “AKMain” – Класс “AK-программы”. В отличие от AKMain предыдущей версии библиотеки, данный класс не привязан к интерфейсу. Хранение объектов осуществляется в словаре, а не списке, изменились способы поиска и доступа. Появилась возможность создавать несколько экземпляров AKMain в пределах одной программы.

В завершении обзора преимуществ разработанной авторами библиотеки рассмотрим предоставляемые ей возможности визуализации данных. Поддерживается несколько способов визуализации данных – с помощью gtk-виджетов и html кода. Опционально может использоваться Mathml.

Обеспечена поддержка разработки оконных интерфейсов с помощью библиотеки GTK+, которая содержит элементы для построения пользовательского графического интерфейса.

Для генерации htm - и mathml - представлений экземпляров класса «AK-объект» используется специализированный шаблонизатор из библиотеки jinja2. Это позволяет отделить представление (материализацию) от кода и использовать сразу несколько представлений, загружать шаблоны извне.

Просмотр результата можно выполнить с помощью браузера или в среде разработки программ на языке Python, если она поддерживает вывод результата в виде html/mathml кода.

Ниже приводится пример шаблона для генерации представления класса «AK-объект».

```
<table class='matrix-values'>
  {% for row in system % }
  <tr>
    {% for comp in row% }
      <td> {{ comp.elems_string() }} </td>
    {% endfor % }
  </tr>
  {% endfor % }
</table>
```

Заключение

Рассмотрены основные недостатки существующей библиотеки для работы с АК-объектами, затрудняющие её развитие и использование вместе с другими программными средствами.

Описана созданная с применением языка Python библиотека, позволяющая выполнять операции АК, её структура, режимы работы, а также отличия от предыдущей версии библиотеки.

В качестве перспектив развития можно отметить следующие направления:

- интеграция системы с библиотеками или фреймворками, работающими с генетическими алгоритмами и поддерживающими решение задач программирования в ограничениях;
- ускорение низкоуровневых операций с использованием Python C-API;
- развитие системы удалённого взаимодействия для реализации возможности удалённого управления и распараллеливания операций.

Литература

1. Осипов, Г.С. Методы искусственного интеллекта / Г.С. Осипов. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
2. Щербина, О.А. Удовлетворение ограничений и программирование в ограничениях / О.А. Щербина // Интеллектуальные системы. - 2011. –Т.15, вып. 1-4. - С.54-73.
3. Зуенко, А.А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов /А.А. Зуенко // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – №3. – С.21-31.
4. Зуенко, А.А. Распространение ограничений и эвристический поиск с применением матричного представления конечных предикатов / А.А. Зуенко // КИИ- 2014, г. Казань, 24-27 сентября 2014 г.: труды Четырнадцатой национальной конференция по искусственному интеллекту с международным участием. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. -Т.1. –С.32-40.
5. Зуенко, А.А. Обработка специальных видов ограничений при решении задач удовлетворения ограничений в структурах алгебры кортежей / А.А. Зуенко // КИИ- 2014, г. Казань, 24-27 сентября 2014 г.: труды Четырнадцатой национальной конференция по искусственному интеллекту с международным участием. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. -Т.1. - С41-49.
6. 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.
7. The Python Language Reference: Data Model. - Режим доступа: <https://docs.python.org/2/reference/datamodel.html>.
8. Index of Python Enhancement Proposals >> PEP 252: Making Types Look More Like Classes. - Режим доступа: <http://legacy.python.org/dev/peps/pep-0252/>.
9. Rossum, G. An Introduction to Python / G. Rossum, F.L. Drake - Network Theory Ltd. - 2011 - С.7-10.
10. Behnel, S. Cython tutorial. Proceedings of the 8th Python in Science Conference(SciPy 2009) / R.W. Bradshaw, D.S. Seljebotn. - Режим доступа: http://conference.scipy.org/proceedings/scipy2009/paper_2/full_text.pdf
11. Johansson, J. Introduction to scientific computing with Python. - Режим доступа: <http://nbviewer.ipython.org/github/jrjohansson/scientific-python-lectures/blob/master/Lecture-0-Scientific-Computing-with-Python.ipynb>
12. A Python Framework for Evolutionary Algorithms. – Режим доступа: <http://vision.gel.ulaval.ca/~cgagne/pubs/deap-gecco-2012.pdf>

Сведения об авторах

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

Алмаматов Александр Анатольевич – младший научный сотрудник,
e-mail: almamatov@ya.ru
Alexander A. Almatov - junior researcher

УДК 004.932.2

А.В. Харитонов¹, А.Г. Олейник^{2,3}

¹ Поволжский государственный технологический университет

² Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

³ Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ ГЛАЗА*

Аннотация

Предлагается метод определения границы зрачка на изображении глаза. Метод основан на поиске приблизительного центра зрачка и последующего уточнения его центра и радиуса. Приведены статистические результаты, определяющие точность работы метода. В качестве тестовых данных использованы изображения из открытой базы данных Casia v4.

Ключевые слова:

поиск границы зрачка, преобразование Хафа, обработка изображений.

A.V. Kharitonov, A.G. Oleynik

THE METHOD FOR LOCATING OF THE PUPIL BORDER ON EYE IMAGE

Abstract

Method for the pupil border locating in image of eye is proposed. The method is based on finding the approximate center of the pupil and the subsequent refinement of its center and radius. The statistical results of determining of the method accuracy are shows. As the test data used images from the Casia v4.

Keywords:

pupil boundary detection, Hough transform, image processing.

Введение

Радужная оболочка – цветная часть глаза между склерой и зрачком. Является, как и отпечатки пальцев фенотипической особенностью человека и развивается в течении первых месяцев беременности.

Общая схема решения задачи идентификации личности по радужной оболочке глаза сводится к следующим шагам: получение исходного изображения и его предобработка; выделение радужной оболочки на изображении; нормализация радужной оболочки; параметризация радужной оболочки; занесение полученного кода радужки в базу или сравнение полученного кода с кодами из базы данных.

Задача поиска границы зрачка на изображении человеческого глаза является одной из подзадач выделения радужной оболочки глаза в системах биометрической идентификации. Для её решения предложено большое

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-37-50432, «Исследование методов и алгоритмов защиты информации на основе биометрической идентификации личности пользователя в системах информационного обеспечения развития территорий Арктической зоны Российской Федерации»).

количество подходов [1, 3, 6, 7, 8], которые можно подразделить на следующие группы:

- 1) преобразование Хафа;
- 2) проекционные методы по яркости и градиенту яркости;
- 3) морфологические методы;
- 4) построение оптимального контура.

Методы, использующие преобразование Хафа [1, 3, 4], являются эффективными на широком классе изображений глаза, однако поиск может занять продолжительное время. С помощью данного метода определяют координаты центра и радиус зрачка глаза. Для поиска округлой формы зрачка используется преобразование Хафа следующего вида:

$$H(x_0, y_0, r) = \sum_i h(x_i, y_i, x_0, y_0, r), \quad (1)$$

где

$$h(x_i, y_i, x_0, y_0, r) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (2)$$

(x_0, y_0) – определяемые координаты центра зрачка; (x_i, y_i) – пиксель на изображении из некоторой окрестности; $r \in [r_{\min}; r_{\max}]$ – возможные радиусы границ зрачка.

На основе (1) и (2) строится аккумуляторное пространство, которое определяет искомый объект. Для окружности произвольного радиуса аккумулятором является трёхмерное пространство, заданное координатами центра и величиной радиуса. Затем осуществляется процедура голосования: каждой точке изображения ставится в соответствии некоторое множество точек из трёхмерного аккумуляторного пространства. Результатом работы метода является точка аккумуляторного пространства, попавшая в наибольшее число множеств.

Морфологический подход часто используется с методами, основанными на вычислении проекций яркости по осям X , Y . Таким образом, оценивается приблизительный центр зрачка и морфологическими операциями выделяется сам зрачок. Данный подход опирается на предположение, что зрачок является наиболее тёмной областью на изображении. Однако яркость бровей и ресниц часто мало отличается от яркости зрачка, что приводит к двум ошибкам: неверное выделение приблизительного центра зрачка и выделение нескольких компонент, содержащих как зрачок, так и другие области. Кроме того, ресницы, брови и зрачок могут сливаться в одну компоненту, затрудняя морфологическое выделение зрачка.

Для построения оптимального контура [6] необходимо определить начальную точку, которая находится внутри области интереса, в данном случае зрачка. Здесь возникают проблемы, аналогичные отмеченным для проекционного метода.

Описание алгоритма

Для решения задачи разработан алгоритм, позволяющий локализовать зрачок на изображении глаза за приемлемое время.

Входными данными для задачи является изображение размером $W \times H$ пикселей. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. К исходному изображению применяется фильтр Гаусса для фильтрации шумов.
2. Изображение разбивается на прямоугольники, в каждом из которых определяется средняя яркость. Считается, что прямоугольник с минимальной яркостью находится в области зрачка.
3. Изображение бинаризуется с некоторым порогом, после чего остаются компоненты, на которых присутствует зрачок.
4. Определяется область интереса для поиска зрачка.
5. С учётом области интереса применяется преобразование Хафа.

Минимум яркости

Для сокращения пространства поиска определим приблизительное положение зрачка на изображении, исходя из предположения, что это область наименьшей средней яркости. Всё изображение разбивается на N прямоугольников по горизонтали и вертикали (в рассматриваемом случае $N = 33$), для каждого из которых рассчитывается средняя яркость. Согласно принятому предположению прямоугольник с минимальной яркостью находится в области зрачка, таким образом, определяется приблизительный центр зрачка (рис. 1).

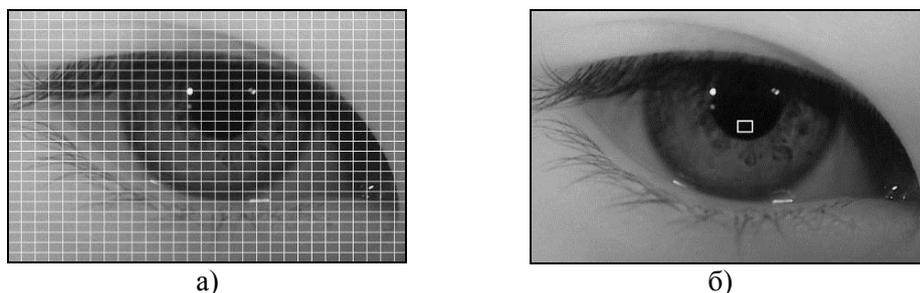


Рис. 1. Поиск области минимальной яркости:

а) – блоки поиска; б) – найденная область минимальной яркости

В отличие от проекций яркости данный метод позволяет точнее определить положение зрачка, так как суммируется яркость изображения локально, а не по строкам (столбцам).

Бинаризация

Бинаризация представляет собой разделение всех пикселей изображения на два класса по определённому порогу яркости γ : пикселям, имеющим яркость меньше γ , присваивается нулевое значение; пикселям, имеющим яркость больше γ , присваивается единичное значение.

$$I(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) \leq \gamma \\ 0, & I(x, y) > \gamma \end{cases} \quad (3)$$

Порог $\gamma = k \cdot \bar{I}_{\min}$, где $k = 1,25$ – коэффициент, зависящий от яркости изображения; \bar{I}_{\min} – средняя яркость в прямоугольнике минимальной яркости, определённом на предыдущем шаге.

К изображению можно применить сглаживающий фильтр для уменьшения шумов и получения более ровных границ. На рис. 2 приведён пример бинаризации изображения: чёрными пикселями отмечены единичные значения, белыми – нулевы.

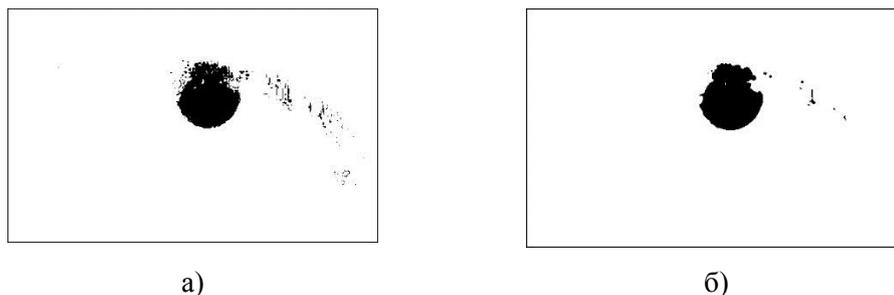


Рис. 2. Результат бинаризации:

а) – без сглаживающего фильтра;

б) – с применением фильтра Гаусса с окном, размером 7 px

Область интереса

В результате обработки получено изображение, содержащее часть зрачка и некоторые области, расположенные рядом с верхним веком (рис. 2). Для уменьшения пространства поиска нужно убрать лишние точки, оставив лишь область зрачка.

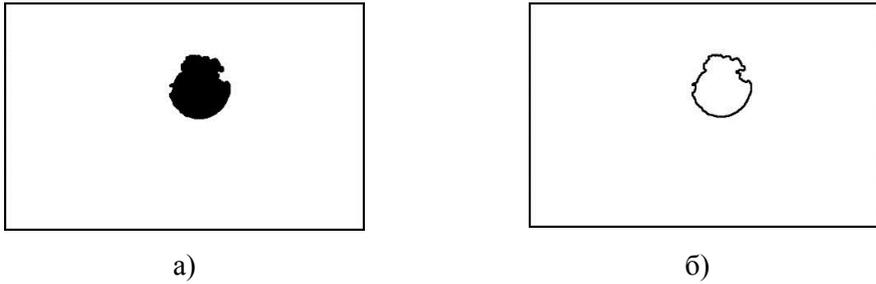
Определить точки, принадлежащие зрачку можно следующим образом: так как центр прямоугольника наименьшей яркости лежит внутри зрачка, то с этой точки начнём производить заливку прилежащих пикселей, имеющих чёрный цвет.

Алгоритм заливки:

- от стартовой точки вверх, а затем вниз заполняем текущую линию от одного края до другого;
- возвращаемся в исходную точку и проверяем: если слева от исходной точки пиксель чёрного цвета и нет границы, то выполняем заполнение новой линии;
- возвращаемся в исходную точку и проверяем: если справа от исходной точки пиксель чёрного цвета и нет границы, то выполняем заполнение новой линии.

Таким образом, на изображении остаётся лишь один объект, определив границы которого можно значительно уменьшить пространство поиска для преобразования Хафа.

Границы объекта находятся с помощью цепного кода Фримена [2]. На рис. 3 показан результат выделения границы зрачка для последующего преобразования Хафа.



*Рис. 3. Выделенная область интереса:
а) зрачок; б) граница зрачка*

Преобразование Хафа

Для выявления округлой части границы зрачка используется разновидность преобразования Хафа. Исходя из размеров области интереса, определяются минимальные/максимальные значения центра и радиуса зрачка. Для каждой комбинации таких значений происходит вычисление координат точек окружности и определение значения пикселя на изображении границы зрачка. Если в вычисленной точке значение больше нуля, то аккумулятор суммируется.

Путём голосования выбирается центр и радиус зрачка. На рис. 4 представлен результат поиска зрачка на изображении. На двух последних изображениях видно, что зрачок включает в себя часть верхнего века. Такое происходит, когда глаз частично закрыт из-за физиологических особенностей человека или в момент моргания. Такие случаи обрабатываются на следующих шагах в биометрической системы идентификации, когда происходит определение возможной области наложения на радужную оболочку глаза верхнего и/или нижнего век и исключение попавших в эту область пикселей изображения из обработки.

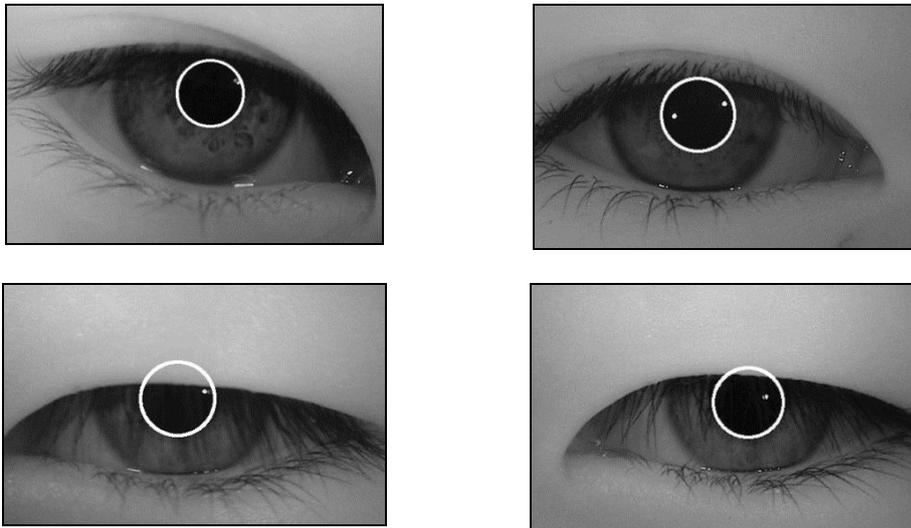


Рис. 4. Пример выделения зрачка

Экспериментальные результаты

В качестве источника изображений для эксперимента выбрана база CASIA-Iris-Twins V4 (было обработано 3183 изображения). Результаты работы алгоритма приведены в табл. 1. Одним из основных источников ошибки выделения зрачка являлось наличие светлых ниспадающих волос, которые делили изображение зрачка на две части. При этом минимум яркости определялся в одной из областей, что приводило к выделению не всего региона зрачка.

Таблица 1

Результаты работы алгоритма

Верно, %	Ошибочно, %	Мин. время, мс	Макс. время, мс	Среднее время, мс
96,45	3,55	144	262	162

В табл. 2 приведено среднее время поиска зрачка для других алгоритмов.

Таблица 2

Время работы алгоритмов

Алгоритм	Среднее время, мс
Daugman	478
Wildes	394
Masek	108
Ma	376
Предлагаемый	162

Изображения в базе CASIA-Iris-Twins имеют размер 640 пикселей в ширину и 480 пикселей в высоту. При уменьшении изображений до размера 320×240 пикселей время поиска уменьшается в среднем в 3,7 раза. То есть примерно в k^2 раз, где k – коэффициент уменьшения. В этом случае скорость работы алгоритма выделения зрачка превосходит те, что представлены в табл. 2.

Заключение

Преимуществом предложенного метод выделения зрачка на изображении глаза является первоначальная оценка месторасположения зрачка, что существенно облегчает задачу поиска и показывает хорошие результаты в точности определения. Для этого применяется оценка яркости региона изображения, а не суммирование яркости по строкам и столбцам. Для определения области поиска производится выбор региона с наименьшей яркостью, после чего изображение бинаризуется и подвергается преобразованию Хафа. Апробация работы алгоритма проведена на изображениях открытой биометрической базы данных CASIA-Iris-Twins.

Предложенный метод наиболее эффективен при использовании изображений, полученных в инфракрасном диапазоне, так как в этом случае регион минимума яркости попадает в область зрачка. При использовании

изображений, полученных в естественном освещении, зрачок может быть светлее бровей и ресниц, что повлечет ложное определение зрачка. Это вносит определенные ограничения в использование предложенного метода для идентификации пользователя по изображению его глаза, получаемому с помощью типовых web-камер и камер мобильных устройств.

Литература

1. Daugman, J. How iris recognition work // Proc. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol. -2004. -Vol. 14. -P.21-30.
2. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов /Фурман Я.А. и др. – Москва: ФИЗМАТЛИТ. – 2003. – 588 с.
3. Wildes, R., Asmuth, J., Green, G., Hsu, S., Kolczynski, R., Matey, J., McBride, S. /A system for automated iris recognition. – Sarasota, FL: Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. – 1994. – P.121-128.
4. Wildes, R.P. Iris recognition an emerging biometric technology / R.P. Wildes // Proceedings of the IEEE. -1995. -Vol.85.
5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений /Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва: Техносфера. – 2005. – 1072 с.
6. Ritter, N. Location of the pupil-iris border in slit-lamp images of the cornea. – Access mode. - Режим доступа:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf&doi=10.1.1.134.8680>
7. Павельева, Е.А. Развитие информационной технологии идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита / Е.А. Павельева, А.С. Крылов, О.С. Урмаев. – Режим доступа:
<http://imaging.cs.msu.ru/>
8. Gui, F. Iris localization scheme based on morphology and gaussian filtering / F. Gui, L. Qiwei // Third Intern. IEEE Conf. on Signal-Image Technologies and Internet-Based System. Shanghai, China. -2007. -P.798-803.

Сведения об авторах

Харитонов Андрей Васильевич - соискатель,
e-mail: kharitonov.a.v@yandex.ru
Andrey V. Kharitonov - degree seekers

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института,
e-mail: oleynik@iimm.net.ru
Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), deputy director

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев^{1,2}, Ю.А. Олейник¹, А.С. Шемякин^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ЛОКАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ*

Аннотация

В статье описано программное средство создания базы документов на примере нормативно-методического обеспечения управления промышленно-экологической безопасностью. Представлена структура системы, рассмотрены основные блоки и интерфейс информационной системы.

Ключевые слова:

электронная база документов, нормативно-методическая документация, промышленно-экологическая безопасность.

S.Yu. Yakovlev, Yu.A. Oleynik, A.S. Shemyakin

LOCAL INFORMATION SYSTEM OF INVESTIGATIONS NORMATIVE AND METHODOLOGICAL SUPPORT

Abstract

The article describes the means of generating a document database by the example of normative and methodical support for industrial and ecological safety management. The system structure is proposed, main blocks and interface of information system are considered.

Keywords:

document database, normative and methodical documentation, industrial and ecological safety.

Введение

В настоящее время создано множество баз и справочных систем по различным направлениям нормативно-правового регулирования, большинство из них являются коммерческими проектами. Для охвата широкого круга потенциальных потребителей такие базы содержат огромное число документов и обладают разнообразными возможностями. Сбор и классификация такого объема информации, постоянная поддержка ее актуальности, создание удобного и понятного для конечного пользователя интерфейса являются трудозатратными и дорогостоящими процессами, что определяет высокую рыночную стоимость конечного продукта. Не каждая организация может позволить себе эксплуатацию такой системы, к тому же пользователю не всегда необходим широкий функционал и полный перечень документов, которыми располагают подобные базы. В связи с этим возникает задача создания проблемно-ориентированных специализированных справочных систем. Одним из важных направлений исследований является регулирование техногенно-экологической безопасности предприятий, промышленно-природных комплексов и регионов. Совокупность

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №12-07-00138.

разнородных нормативно-методических документов насчитывает тысячи наименований [1, 2], что делает актуальной разработку соответствующей информационной системы.

1. Общая структура системы

Информационная система состоит из четырех основных блоков (рис. 1).

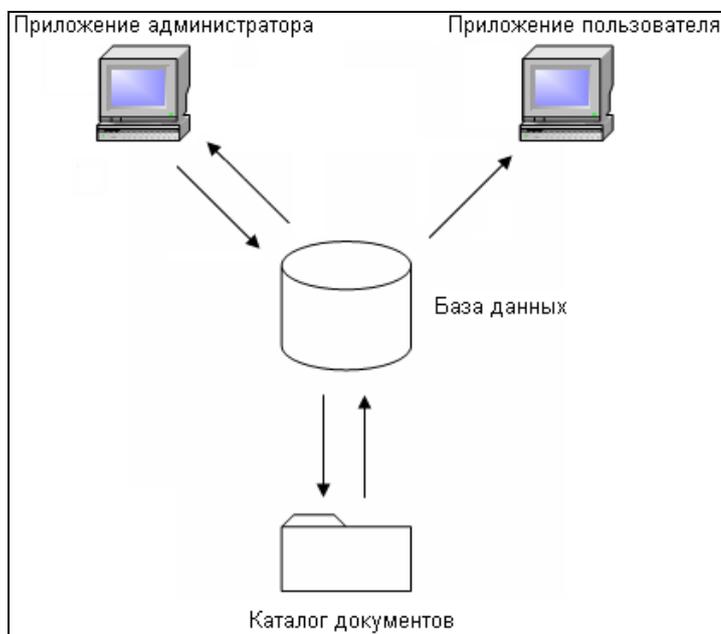


Рис. 1. Структура информационной системы

Каталог документов – директория на жестком диске, где хранятся все доступные системе документы.

База данных – база, созданная для управления каталогом документов и выполнения основных функций системы, таких как закрепление за документами атрибутов, поиск по этим атрибутам, редактирование атрибутов, добавление или удаление документов из системы.

Приложение пользователя – приложение для конечных пользователей системы. В функционал приложения входит поиск документов в каталоге, их просмотр и вывод на печать.

Приложение администратора – приложение для администраторов системы. С его помощью администратор может добавить или удалить документ, отредактировать атрибуты документа, добавить новый атрибут или новые значения атрибута, а также удалить их.

Далее блоки системы будут описаны подробнее.

2. База данных

База нормативно-методических документов по указанной тематике может содержать самые различные документы: от федеральных законов и ГОСТов, до распоряжений администрации района, города или даже предприятия, в зависимости от целевого использования базы [1, 2].

Для расширения адаптационных возможностей системы было решено к каждому документу, помимо стандартных базовых атрибутов (название, год вступления в силу и т.п.), дать возможность добавления неограниченного количества других атрибутов, необходимых потенциальному пользователю.

В базе данных предложенное решение было реализовано с помощью трех связанных таблиц (рис. 2).

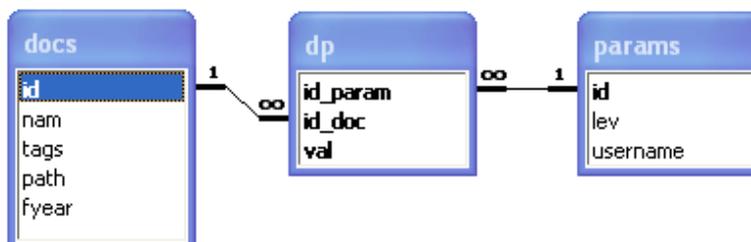


Рис. 2. Структура базы данных информационной системы

Таблица «docs» предназначена для хранения основной информации о документах. В таблице «params» хранится список всех атрибутов документов. В таблице «dp» задается привязка атрибута к документу, а также хранится значение привязанного атрибута. Например: пусть имеются федеральный закон «документ 1» и постановление правительства области «документ 2», тогда один и тот же атрибут «тип документа» может быть привязан к первому документу со значением «федеральный закон» и ко второму со значением «постановление правительства области».

Для управления базой была выбрана СУБД Access в виду её удобства и наглядности представления, однако взаимодействие с базой данных со стороны администраторского и пользовательского приложений происходит посредством стандартных запросов на языке SQL, поэтому база данных может находиться под управлением любой другой СУБД, поддерживающей данный язык запросов.

3. Приложение администратора

Приложение администратора предназначено для управления базой документов. Действия по управлению базой документов можно условно разделить на несколько типов:

- добавление документа в базу;
- редактирование документов;
- редактирование списка атрибутов и их значений.

Для каждого типа действий в приложении предусмотрена своя форма, также присутствует форма для просмотра списка документов. Переключение между формами осуществляется с помощью выпадающего меню, НМБ УПЭБ – нормативно-методическая база управления промышленно-экологической безопасностью (рис. 3.) Также присутствует форма фильтрации документов, которая вызывается в случае необходимости из других форм.

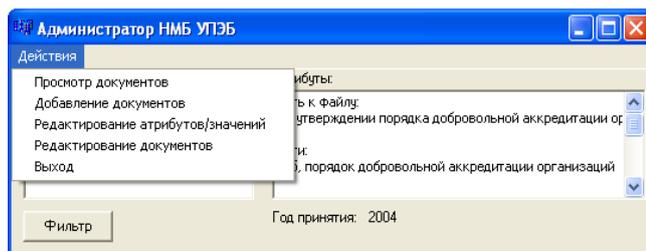


Рис. 3. Меню переключения между формами приложения администратора

Форма добавления документов позволяет администратору добавлять новые документы в систему. Общий вид формы представлен на рис. 4.

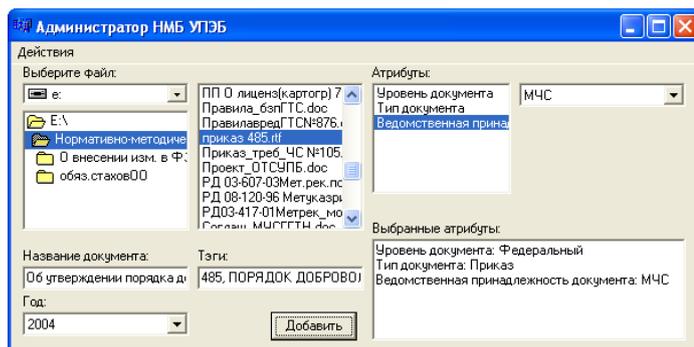


Рис. 4. Форма добавления документа

Интерфейс формы позволяет указать файл документа, задать его название, год принятия, ключевые слова, а также присвоить документу ряд атрибутов с указанием их значений. При добавлении документа в информационную систему указанный файл будет скопирован в каталог документов, а в базу данных будут занесены записи с указанной на форме информацией.

Общий вид формы редактирования атрибутов и значений представлен на рис. 5. Интерфейс данной формы позволяет добавлять и удалять как сами атрибуты, так и значения каждого из атрибутов. Также на этой форме задается порядок показа атрибутов пользователю при выводе результатов поиска.

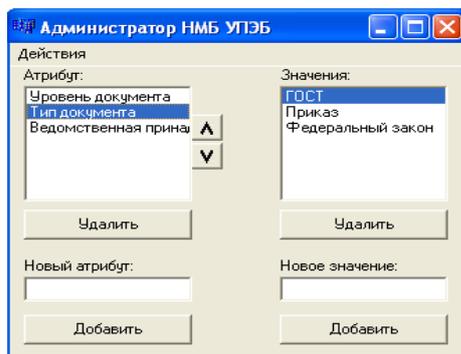


Рис. 5. Форма редактирования атрибутов и их значений

Интерфейс формы редактирования документов позволяет отобразить полный или отфильтрованный список документов, находящихся в системе, выбрать один или несколько из них и изменить некоторые параметры или атрибуты у выбранных документов, либо удалить их. Общий вид формы представлен на рис. 6.

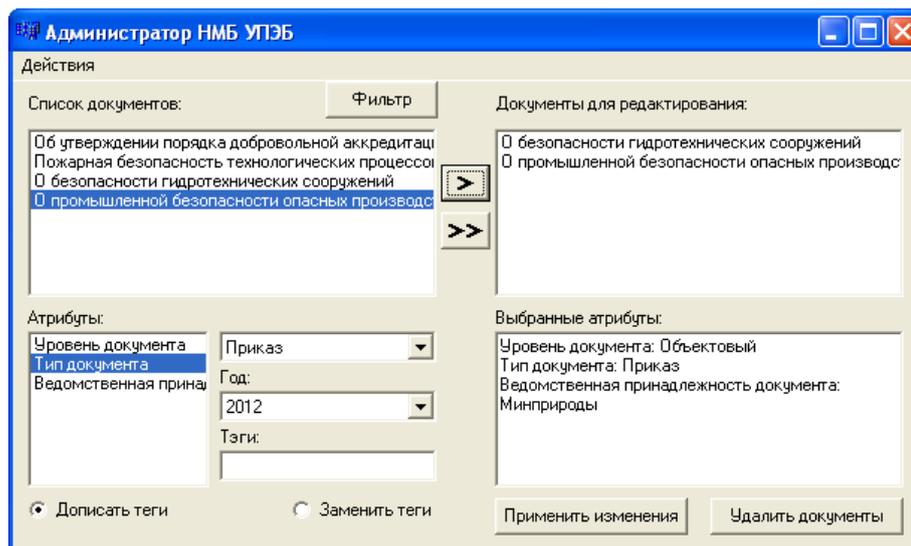


Рис. 6. Форма редактирования документов

Фильтрация используется для сокращения списка отображаемых документов, оставляя только документы с интересующими пользователя признаками. Форма фильтрации представлена на рис. 7.

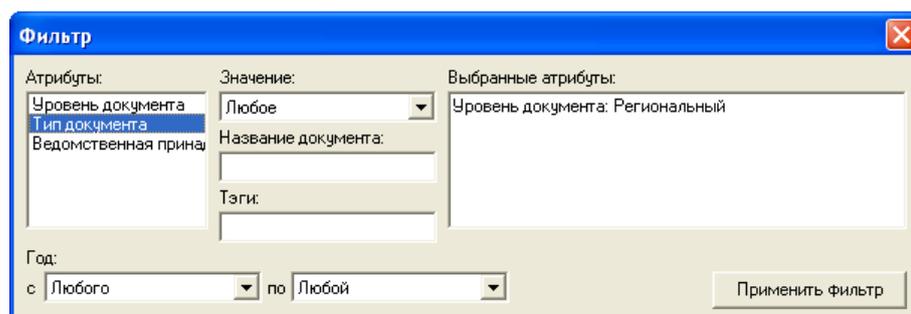


Рис. 7. Форма фильтрации

Фильтрация в системе имеет следующие особенности:

- если значение какого-либо атрибута не указано, то фильтр не будет учитывать его значение и наличие;
- система отображает все документы, первые символы названий которых совпадают с введенным в поле «Название документа»;
- ключевые слова (тэги) для каждого документа в системе перечисляются через запятую с пробелом. Таким же образом система разобьет

данные введенные в поле «Тэги». Будут отображены все документы, в которых есть хотя бы одно ключевое слово из поля «Тэги»;

- если необходимо отобразить все документы, принятые в определенном году, то следует в полях «с» и «по» указать этот год.

С помощью формы просмотра документов (рис. 8) администратор может получить полную информацию о любом документе системы. В отображаемом списке документов, так же как и на форме редактирования документов, первоначально представлены все документы системы и к списку так же можно применить фильтр.

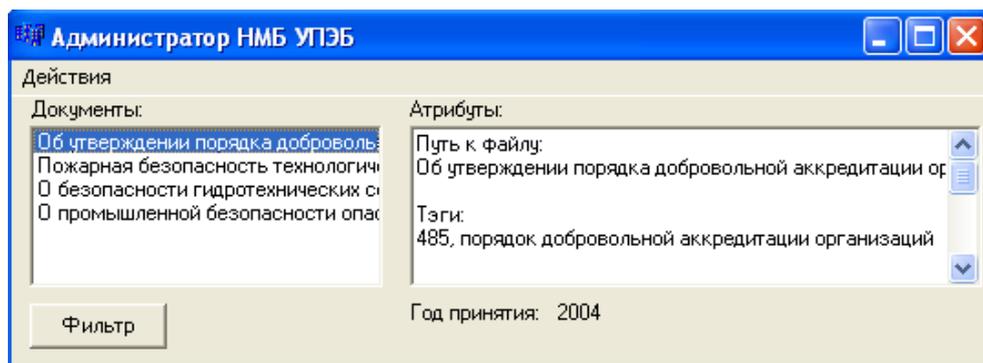


Рис. 8. Форма просмотра документов

4. Приложение пользователя

Интерфейс приложения пользователя внешне похож на форму просмотра документов приложения администратора, за исключением некоторых отличий (рис. 9). Приложение позволяет с помощью фильтра найти из всего списка документов базы документы, удовлетворяющие запросу пользователя, открыть найденные документы в соответствующем редакторе, а также вывести их на печать.

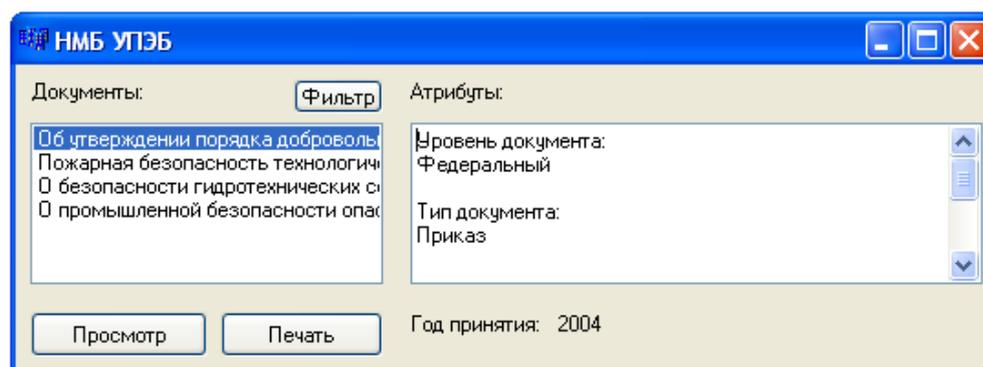


Рис. 9. Интерфейс приложения пользователя

Заключение

Создана специализированная информационная система нормативно-правовых документов по вопросам промышленно-экологической безопасности производственных предприятий и комплексов. Система обеспечивает:

- оперативный поиск нужного документа по различным критериям;
- работу с документом;
- корректировку базы документов;
- формирование отчётов.

Возможными направлениями развития системы являются:

- усовершенствование пользовательского интерфейса (повышение информативности и удобства работы);
- расширение функционала работы с документами;
- обеспечение возможности расширения предметной области на документацию любой другой тематики.

Созданная система была зарегистрирована в ЦИТиС [3].

Литература

1. Яковлев, С.Ю. Оптимизация ведения нормативной документации по опасным производственным объектам /С.Ю. Яковлев, А.А Рыженко //Труды Института системного анализа РАН. Прикладные проблемы управления макросистемами / Под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова. - Т.59. - М: КРАСАНД, 2010.– С.197-205.
2. Яковлев, С.Ю. Информационная технология декларирования пожарной безопасности регионального промышленного комплекса / С.Ю. Яковлев, А.А Рыженко // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып.2. - 4/2011(7). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. -2011. – С.244-253.
3. Олейник, Ю.А. Информационно-справочная система нормативно-методической документации по промышленно-экологической безопасности /Ю.А. Олейник, С.Ю. Яковлев, А.С. Шемякин // Свидетельство о регистрации электронного ресурса в ФГАНУ "ЦИТиС" № 50201450240 от 21.03.2014 г.

Сведения об авторах

Яковлев Сергей Юрьевич – к.т.н., старший научный сотрудник, доцент,
e-mail: yakovlev@iimm.ru
Sergey Yu. Yakovlev - Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher, associate professor

Олейник Юрий Андреевич – инженер,
e-mail: yoleynik@iimm.ru
Yurii A. Oleynik – engineer

Шемякин Алексей Сергеевич – научный сотрудник, старший преподаватель,
e-mail: shemyakin@iimm.ru
Alexey S. Shemyakin – researcher, associate professor

УДК 004.94

Д.Н. Халиуллина

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГИОНА

Аннотация

Проведен краткий обзор средств и технологий мониторинга сложных социально-экономических систем региона. Введено понятие социально-экономического мониторинга, выделены его цели и задачи.

Ключевые слова:

социально-экономический мониторинг, рынок труда, прогнозирование социально-экономического развития.

D.N. Khaliullina

BRIEF REVIEW OF PRESENT-DAY METHODS FOR MONITORING OF COMPLEX SOCIAL AND ECONOMIC REGION SYSTEMS

Abstract

The brief review of methods and technologies for monitoring of complex social and economic region systems is given. The concept of social and economic monitoring is introduced and its goals and objectives are singled out.

Key words:

social and economic monitoring, labor-market, forecasting of social and economic development.

Введение

Современный этап развития общества характеризуется резким возрастанием роли и значения информации в управлении социально-экономическими процессами. Наличие полной своевременной и достоверной информации о процессах, происходящих в различных отраслях и сферах жизнедеятельности региона, является необходимым условием организации эффективного управления его развитием [1].

Эффективность кадровой политики во многом зависит от того, насколько рыночные ориентации образования согласуются с государственными интересами, общенациональными и региональными приоритетами [2]. Удовлетворение спроса на определенные специальности без учета объективных потребностей развития области приводит к дисбалансу - несоответствию спроса и предложения рабочей силы.

Для решения этой проблемы необходимо систематически проводить исследования, направленные на анализ объективной социально-экономической обстановки региона. Это позволило бы существенно повысить уровень и качество жизни населения, нормализовать демографическую ситуацию и обеспечить эффективную занятость. Основные задачи, которые при этом необходимо решить, состоят в следующем [1]:

- эффективная организация сбора информации;
- объективная оценка происходящих изменений;

- прогнозирование развития социально-экономических процессов;
- своевременная разработка регулирующих воздействий, направленных на поддержку позитивных и ослабление негативных тенденций.

Одним из эффективных способов решения рассмотренных проблем является мониторинг социально-экономических показателей, информационной основой которого могут служить базы данных федеральных органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления, учреждений, организаций; данные государственной статистической отчетности, материалы обследований, программ, проектов и т.п.

Социально-экономический мониторинг

Поскольку понятие мониторинг изучается и используется в различных сферах научно-практической деятельности, то невозможно дать его точного однозначного толкования. Мониторинг может рассматриваться и как способ исследования реальности, используемый в различных науках, и как способ обеспечения сферы управления различными видами деятельности посредством представления своевременной и качественной информации [3].

Понятие социально-экономического мониторинга

Мониторинг имеет огромное познавательное и научное значение, состоящее в создании надежной и объективной основы для выработки государственной политики, регулирования территориального развития и определения ее приоритетов, принятия мер государственной поддержки тех или иных территорий, выявленных в ходе мониторинга сложившейся региональной ситуации [5].

Государственный стандарт РФ [4] определяет мониторинг (от лат. *monitor* - предостерегающий) как деятельность по наблюдению (слежению) за определенными объектами или явлениями.

В России данный термин стал употребляться во второй половине XX века, и его применение было связано с наблюдением за состоянием окружающей среды. С развитием рыночных отношений этот термин начал использоваться и в экономике [6, 7]. В связи с этим понятие мониторинга стало включать в себя совокупность приемов по отслеживанию, анализу, оценке и прогнозированию социально-экономических процессов, связанных с реформами, а также сбор, обработку информации и подготовку рекомендаций по развитию реформ. В более узком смысле мониторинг стал предполагать анализ и оценку финансово-экономического состояния предприятий с целью повышения эффективности управления и предупреждения кризисных явлений.

Одним из определений социального мониторинга [8] является процесс непрерывного сбора и систематизации информации, анализ которой приводит к выработке мотивированных управленческих актов в области формирования региональной политики, позволяет осуществлять прогноз, оценку результатов (на основе обратной связи) и корректировку на всех уровнях управления.

Социально-экономический мониторинг объединяет в себе оба понятия и подразумевает под собой оценку, прогноз, систему наблюдения и анализа экономической и социальной обстановки, складывающейся на территории, а также выработку рекомендаций по принятию рациональных управленческих

решений. Данный вид мониторинга позволяет регулярно получать оперативную управленческую информацию по различным регионам в заданные промежутки времени.

Результатом мониторинговых исследований должны являться методики, рекомендации и предложения, направленные на повышение эффективности управления социально-экономической сферой региона.

Цели и задачи социально-экономического мониторинга

Так как мониторинг социально-экономических процессов в регионах направлен на определение экономического состояния в регионе и оценку экономических последствий, связанных с реализацией управленческих решений, предметом мониторинга являются региональные ситуации и региональные проблемы.

Проведение мониторинга позволяет органам государственной власти и местного самоуправления получать необходимую и достоверную информацию о состоянии социально-экономической системы региона, которую можно использовать для принятия решений, связанных с прогнозированием, планированием, организацией и контролем.

Главной задачей мониторинга социально-экономического развития региона является эффективное функционирование региона, которое может быть организовано при решении следующих подзадач [1]:

- 1) организация наблюдения, получение достоверной и объективной информации о социально-экономических процессах, происходящих в регионе;
- 2) оценка и системный анализ получаемой информации, выявление причин, вызывающих тот или иной характер рассматриваемых процессов;
- 3) выявление факторов, вызывающих экономические и социальные угрозы в настоящее время и в перспективе;
- 4) прогноз развития социально-экономической ситуации;
- 5) разработка рекомендаций, направленных на устранение негативных последствий и развитие позитивных тенденций.

Для решения этих задач система регионального мониторинга должна обеспечить учет, сбор, анализ и распространение полученной информации в регионе.

Средства мониторинга

Наличие огромного количества показателей, характеризующих социально-экономическое развитие региона, не позволяют быстро и однозначно оценить уровень его развития, поэтому важным этапом при решении данного вопроса становится мониторинг, основными характеристиками и свойствами которого являются систематичность, динамичность, нацеленность на прогноз. Результаты мониторинговых исследований служат основой для разработки научно обоснованных программ по развитию социальной сферы.

Информационное обеспечение, создаваемое в процессе мониторинга, должно предоставлять возможность корректировать условия и действия факторов, влияющих на состояние и динамику различных процессов, при принятии управленческих решений.

При этом разрабатываемые технологии должны реализовывать следующие принципы [11]:

1. Комплексность - необходимо рассматривать все объекты исследования во взаимосвязи, изучать все факторы, оказывающие влияние на социально-экономическое развитие региона, как целостной системы, так и отдельных ее составляющих.

2. Системность – все исследуемые объекты должны быть взаимосвязаны и являются единой системой.

3. Перспективность – данные, полученные в ходе мониторинга, могут быть использованы в разработке стратегии развития региона, а также в рамках территориального планирования.

4. Предупредительность – разрабатываемые технологии должны быть направлены на повышение эффективности и оперативности принятия решений.

5. Непрерывность и своевременность – данные должны постоянно обновляться, а качество получаемой информации контролироваться.

6. Индивидуальность – учитывается специфика каждого объекта входящего в систему мониторинга, а поскольку данные объекты характеризуют социально-экономическое положение региона в целом, то в ходе исследования очевидными становятся и региональные отличия.

В настоящее время на территории России уже создано несколько технологий мониторинга социально-экономических показателей, которые внедрены в некоторых регионах.

Мониторинг с использованием многомерных баз данных и технологии OLAP

На протяжении нескольких лет в Пензенском государственном университете ведутся работы по разработке технологий мониторинга социально-экономических систем с использованием многомерных баз данных (МБД) и технологии OLAP (Online Analytical Processing) [12]. В частности, решаются задачи предварительной подготовки данных, автоматизированного формирования МБД и последующего анализа информации.

OLAP предоставляет удобные быстродействующие средства доступа, просмотра и анализа информации. В итоге получается модель данных, организованная в виде многомерных кубов (Cubes), осями многомерной системы координат которых служат основные атрибуты анализируемого процесса. В качестве одного из измерений используется время. Например, для согласованного выпуска специалистов с высшим образованием с потребностями рынка труда региона это:

1. Демографические процессы (данные переписи населения, предоставляемые органами государственной статистики региона: общая численность населения, половозрастной состав и т. д.).

2. Состояние рынка труда, занятости и безработицы (данные службы занятости и кадровых агентств о вакансиях, а также объявления-предложения рабочих мест в периодических изданиях). Данное измерение является одним из ключевых в формировании и корректировке образовательного заказа в системе высшего профессионального образования на подготовку специалистов.

3. Рынок образовательных услуг. Позволяет изучать существующее состояние рынка образовательных услуг, а также выявлять тенденции его развития.

4. Прогноз потребности в специалистах по отраслям экономики, осуществляемый центрами бюджетного мониторинга с целью формирования государственного заказа на подготовку специалистов.

5. Различные социологические данные, связанные с анализом взаимосвязей системы высшего профессионального образования и рынка труда.

С помощью системы можно получать сводные (например, по годам) или, наоборот, детальные (по определенной специальности) сведения.

Существенными преимуществами технологии OLAP на этапе предоставления результата являются:

- высокая степень наглядности результатов мониторинга.
- легкость формирования отчетов, разработкой которых могут заниматься даже пользователи, не обладающими специальными знаниями и навыками.

- соответствие принципу системного единства. Пользователь избавлен от необходимости самостоятельно разрабатывать технологию и правила совмещения разнотипной информации, собирать ее воедино из разрозненных и по-разному структурированных массивов данных и бумажных отчетов.

Главным недостатком системы является ее непригодность для информационной поддержки согласованного выпуска специалистов с высшим образованием, так как МБД не содержит необходимых сведений для мониторинга и прогнозирования [2].

В Пензенской области в федеральной службе занятости населения данное программное средство применяется с 2006 года.

Программный комплекс "Катарсис"

Технология OLAP лежит в основе автоматизированной системы «Региональное хранилище данных» - компонента программного комплекса «Катарсис», который предназначен для автоматизации территориальных органов занятости по вопросам занятости населения.

Автоматизированная система (АС) «Мониторинг рынка труда» - это инструментальный для создания регионального хранилища данных на основе первичной информации из Программного Комплекса «КАТАРСИС». Система расширяет и дополняет функциональные возможности Программного Комплекса и предназначена для оперативного и всестороннего анализа рынка труда региона.

АС «Мониторинг рынка труда» является системой поддержки принятия решений, а к основным преимуществам можно отнести [13]:

- создание современного хранилища данных региональной службы занятости населения, решение задачи сбора и накопления информации для проведения оперативного анализа;

- качественный мониторинг рынка труда, оперативное получение сложных аналитических выборок данных в разрезе всего региона и за произвольный период времени;

- анализ и сопоставление данных, как связанных с предметной областью региональной службы занятости населения, так и данных, поступающих из других источников;
- высокая скорость и простота получения отчетных форм, отражающих динамику изменения показателей деятельности региональной службы занятости населения, а также простота экспорта форм в другие программные продукты.
- высокий уровень надежности системы и защиты данных.

Система поддержки принятия решений «Паспорт региона (муниципалитета)»

Система поддержки принятия решений (СППР) «Паспорт региона (муниципалитета)» предназначена для информационной, методической и инструментальной поддержки процессов подготовки и принятия управленческих решений органами государственной власти по вопросам социально-экономического развития территории.

Внедрение данной системы позволяет повысить оперативность и эффективность деятельности органов государственной власти за счет использования передовых информационных технологий, оперативного формирования на их основе комплексной аналитической информации, необходимой для выработки и принятия решений по планированию и регулированию социально-экономического развития территории.

В рамках СППР решаются следующие задачи:

- создание единого информационного пространства показателей социально-экономического развития территории на основе централизованного информационного хранилища данных, обеспечивающего накопление и хранение исторических данных;
- комплексный анализ сложившейся социально-экономической ситуации;
- проведение мониторинга, анализа и прогнозирования (сценарного и целевого) социально-экономического развития территории;
- повышение оперативности и качества управленческих решений на основе использования аналитических и прогнозных инструментальных средств;
- визуализация данных с применением геоинформационных систем.

Отличительными особенностями системы являются:

- система является уникальной специализированной OLAP-системой и обеспечивает поддержку банка данных, содержащего как текущие, так и ретроспективные данные всех аспектов социально-экономического развития региона, включая все муниципальные образования;
- система позволяет осуществлять многовариантное информационное взаимодействие с программным обеспечением других разработчиков.

В состав включены такие программные модули (ПМ), как «Прогнозирование социально-экономического развития территории», «Мониторинг социально-экономических показателей территории».

ПМ «Прогнозирование социально-экономического развития территории» предназначен для проведения многовариантных расчетов сценарного и целевого характера на макроуровне и по отдельным отраслям экономики территории на

основе комплексной имитационной модели социально-экономического развития территории.

Целью внедрения ПМ «Прогнозирование социально-экономического развития территории» является обеспечение органов государственной власти и местного самоуправления результатами вариантных расчетов количественных изменений параметров социального и экономического развития территории для последующей экспертной аналитической оценки специалистами качественных изменений в социально-экономическом развитии территории и построение соответствующих прогнозов, являющихся основой при принятии соответствующего решения.

К функциональным возможностям ПМ «Прогнозирование социально-экономического развития территории» относятся [14]:

- построение многофакторной имитационной модели социально-экономической деятельности региона в целях прогнозирования и принятия управленческих решений;
- использование технологий ситуационного моделирования и индикативного планирования;
- возможность решения прямой и обратной задачи прогнозирования;
- возможность формирования индивидуальной и общей сценарной карты;
- формирование прогноза социально-экономического развития субъекта РФ на очередной финансовый год и среднесрочный период.

ПМ «Мониторинг социально-экономических показателей территории» предназначен для комплексного наблюдения за показателями, характеризующими социально-экономическую ситуацию.

Данный программный модуль включает в себя: отслеживание тенденций социально-экономического и финансового состояния территории; мониторинг складывающихся тенденций и пропорций развития отраслей по основным показателям; регулярный мониторинг (отслеживание) показателей социально-экономического и финансового развития территории.

ПМ «Мониторинга социально-экономических показателей территории» представляет собой интегрированный информационно-аналитический комплекс проблемно-ориентированных блоков, каждый из которых предназначен для работы с основными социально-экономическими показателями отдельных сфер деятельности.

Программный комплекс PROGNOSiS

Программный комплекс PROGNOSiS предназначен для проведения численных расчетов характеристик трудовых ресурсов в субъектах Российской Федерации [15].

В основе программного комплекса лежат унифицированные макро-экономические модели и устойчивые вычислительные алгоритмы, которые позволяют рассчитывать до 2020 года следующие социально-экономические показатели: прогноз численности работников по видам экономической деятельности; прогноз объема ежегодной дополнительной потребности в кадрах по видам экономической деятельности в разрезе направлений подготовки и специальностей образования; прогноз объема ежегодного выпуска из системы

профессионального образования в разрезе направлений подготовки и специальностей образования; баланс спроса и предложения на рынке труда в разрезе направлений подготовки и специальностей образования [16].

Программа позволяет не только оценить степень ежегодного несоответствия (дисбаланс) между потребностями экономики и выпускающимися специалистами для каждого региона, но и дать научно-обоснованные рекомендации по решению управленческой задачи: сколько и каких специалистов следует заблаговременно готовить, чтобы со временем устранить дисбаланс в кадровом вопросе.

В состав комплекса входят следующие функциональные блоки:

- прогнозирование потребностей экономики в кадрах;
- прогнозирование возможностей системы образования;
- прогнозирование баланса спроса и предложения на рынке труда;
- прогнозирование баланса трудовых ресурсов;
- формирование контрольных цифр приема на подготовку граждан системой профессионального образования.

К основным преимуществам данной разработки можно отнести: апробация методики на Федеральном уровне, региональном уровне, а также наличие международного опыта адаптации методики; высокая сходимость прогнозов.

Программа проводит расчет различных показателей в рамках отдельного региона, и может быть адаптирована к расчету для любого субъекта при условии наличия достаточного количества исходных статистических данных [15].

Информационно-аналитическая система "Мониторинг, анализ и прогнозирование социально-экономического развития и финансового состояния регионов Российской Федерации" компании «Прогноз»

Фирмой «Прогноз» разработан аналитический комплекс "Прогноз", концепция которого основана на технологии интегрированных хранилищ данных (Data Warehouse), углубленной аналитической обработке накопленной информации методами поддержки принятия решений (OLAP-технологии) [17].

В интегрированном хранилище данных федеральных и региональных информационно-аналитических систем информация регулярно пополняется в результате отбора необходимых данных из различных источников информации (автономных баз данных, Госкомстата РФ и других источников информации).

Можно выделить примерный перечень задач, решаемых с использованием данного комплекса:

- динамический анализ и мониторинг процессов, являющихся предметом контроля федеральных и региональных органов власти;
- анализ тенденций и закономерностей в динамике, контролируемых показателей в функциональном и территориальном разрезе;
- моделирование и вариантное прогнозирование на основе комплекса имитационных моделей состояния и взаимосвязей функциональных и социально-экономических показателей отраслевых, ведомственных, региональных комплексов;
- оценка эффективности принимаемых решений;

- автоматизация процессов подготовки аналитической отчетности, инструментальная и информационная поддержка экспертно-аналитической деятельности руководства и сотрудников региональных и федеральных органов власти;

- формирование и ведение аналитических баз данных социально-экономических и финансовых показателей;

- комплексный анализ сложившейся социально-экономической ситуации;

- сравнительный анализ уровня развития регионов, муниципальных образований региона с целью выделения диспропорций и точек роста;

- моделирование параметров социально-экономического и финансового развития исследуемого объекта (страны, отрасли, региона, муниципального образования);

- формирование сценариев управленческих решений по перспективному социально-экономическому развитию регионов во взаимосвязи с макроэкономическими параметрами;

- выполнение многовариантных прогнозных расчетов сценарного и целевого типа социально-экономического развития регионов и страны на основе комплекса динамических моделей;

- анализ и прогноз влияния макроэкономических и региональных факторов на развитие экономической и социальной ситуации в регионах.

Фирмой «Прогноз» разработана также информационно-аналитическая система (ИАС) "Мониторинг, анализ и прогнозирование социально-экономического развития и финансового состояния регионов Российской Федерации", которая используется в Департаменте региональной экономики Минэкономразвития России.

Основными задачами системы являются аккумуляция информационных ресурсов субъектов Российской Федерации, предоставление информационной, методической и инструментальной поддержки руководству и сотрудникам Департамента.

В рамках ИАС осуществляется слаженное взаимодействие подсистемы мониторинга, аналитической подсистемы и подсистемы прогнозирования. Подсистема мониторинга обеспечивает контроль и отслеживание основных направлений текущей социально-экономической деятельности субъектов Российской Федерации. Аналитическая подсистема предназначена для разностороннего анализа социально-экономических и финансовых показателей, построения сводных интегральных оценок развития регионов в сравнении с другими регионами, федеральными округами, Россией в целом, формирования паспортов территорий и т.п. Благодаря подсистеме прогнозирования обеспечивается автоматизация многовариантных расчетов краткосрочных и среднесрочных прогнозов развития на сценарной и целевой основе.

Фактически, в рамках системы созданы электронные досье по всем субъектам РФ, включающие как базы данных социально-экономических и финансовых показателей, так и индивидуальные модели, учитывающие особенности каждого региона, что позволяет специалистам Департамента просчитывать различные сценарии развития каждого субъекта Российской Федерации.

Региональное прогнозирование в системе основано на использовании комплексной имитационной модели социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, которая позволяет просчитать различные варианты развития той или иной ситуации, сравнить между собой результаты реализации тех или иных финансовых стратегий, проранжировать результаты по произвольным экономическим критериям [18].

Заключение

Социально-экономический мониторинг объединяет сбор информации, проведение необходимых расчетов и оценку социально-экономического развития, позволяющую выявить причины неустойчивого развития региона.

Рассмотренные средства мониторинга решают задачи сбора и накопления информации для проведения анализа сложившейся в регионе социально-экономической ситуации. Они позволяют получать данные о состоянии региона за любой период времени и на основе данной информации формировать отчеты. Некоторые разработки имеют апробацию не только на региональном, но и на федеральном уровне.

Недостатком рассмотренных систем является применение макро-экономических моделей, которые не всегда дают точный прогноз. Одним из вариантов решения данной проблемы может стать использование метода имитационного моделирования, который дает возможность проследить тенденции развития сложных экономических систем и спрогнозировать их дальнейшее поведение, что значительно повысит эффективность принимаемых управленческих решений.

Литература

1. Когут, А.Е. Информационные основы регионального социально-экономического мониторинга / А.Е. Когут, В.С. Рохчин. - СПб.: ИСЭП РАН, 1995. - 97 с.
2. Бершадский, А.М. Мониторинг социально-экономических систем с использованием многомерных баз данных (МБД) и технологии OLAP / А.М. Бершадский, Е.И. Косникова, В.В. Эпп // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сборник докладов Третьей Всероссийской научно-практ. Интернет-конференции, г. Петрозаводск, 25 – 26 октября 2006 г. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. - Кн. I. –С.96-103.
3. Гладченко, Т.Н. Мониторинг социально-экономического развития региона. - Режим доступа: http://universal-group.in.ua/fileadmin/user_upload/articles_2012/Gladchenko_monitoring.pdf
4. ГОСТ Р 22.1.02-95. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения.
5. Голиченко, О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития /О.Г. Голиченко. – М.: Наука, 2006 – 396 с.
6. Воронова, Э.Б. Исследование тенденций развития социально-экономических систем на основе предикативного мониторинга / Э.Б. Воронова, И.А. Кислухина. – Сургут: ООО «Дефис», 2011. – 155 с.
7. Шишкин, А.И. Сущность, задачи и принципы мониторинга социально-экономических процессов в регионе / А.И. Шишкин // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2011. – № 1 (19). –С.16-30.

8. Бузова, М.А. Социальный мониторинг как средство управления общим средним образованием. Автореферат дис. к.с.н.: специальность 22.00.08 / Бузова Мария Александровна, Саратовский гос. техн. ун-т. – Саратов, 2009. - 22 с.
9. Коробейникова О.А. Развитие информационных систем: как основа эффективного регионального управления.
- Режим доступа: http://vestnik.osu.ru/2005_10_1/10.pdf
10. Рисин, И.Е. Принципы мониторинга социально-экономического развития региона / И.Е. Рисин, И.А. Шлеките // Актуальные проблемы развития территорий и систем регионального и муниципального управления. – Воронеж, 2007, вып. 3. -С.29-32.
11. Шувалова, Ю.Ю. Совершенствование мониторинга социально-экономического развития региона: автореферат дис. к.э.н.: специальность 08.00.05 / Шувалова Юлия Юрьевна, г. Санкт-Петербург. – 2012. – 22с.
12. Интеграция технологий OLAP и ГИС для поддержки процесса управления в системе образования / А.М. Бершадский // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе: материалы XXX юбилейной Междунар. конф. и I Междунар. конф. молодых ученых, Украина, Крым, 19-28 мая. –Ялта, Гурзуф, 2003. -С.273-274.
13. Автоматизированная система «Мониторинг рынка труда». - Режим доступа: <http://www.katharsis.ru/home/actdirections/pdevelopmentsoft/softczn/softMRT.aspx>
14. Система поддержки принятия решений «Паспорт региона (муниципалитета)».
– Режим доступа:
http://ns1.krista.ru/Filial_learn/01_Теория/Расходы/2010_Описание_СППР.doc
15. Центр бюджетного мониторинга. – Режим доступа:
simt.pf/docs/News/160112/prognosis.pdf
16. Программный комплекс PROGNOSiS. - Режим доступа:
http://openbudgetrf.ru/?page_id=49
17. Prognoz. Решения для предприятий и холдингов. – Режим доступа:
<http://www.pcweek.ru/upload/iblock/b42/prognoz.pdf>
18. Информационно-аналитическое обеспечение принятия управленческих решений на уровне регионов и федерального центра. – Режим доступа:
<http://www.cnews.ru/reviews/free/gov/part3/prognoz.shtml>

Сведения об авторе

Халиуллина Дарья Николаевна – младший научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.ru
Darya N. Khaliullina – junior researcher

УДК 004.94

Д.Н. Халиуллина¹, С.Н. Малыгина^{1,2}, А.А. Менькова¹

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ И ССУЗОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В работе представлена разработка имитационной модели, которая позволяет оценить количество выпускников вузов и ссузов Мурманской области. Также были выделены основные показатели, рассматриваемые в математической модели данной предметной области, и получен прогноз общего выпуска студентов.

Ключевые слова:

количество выпускников, математическая модель, системно-динамическая модель.

D.N. Khaliullina, S.N. Malygina, A.A. Menkova

DEVELOPING SIMULATION MODEL FOR EVALUATING QUANTITY OF GRADUATES FROM HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS AND SECONDARY SPECIALIZED COLLEGES IN MURMANSK REGION

Abstract

The article describes developing simulation model which give the opportunity to evaluate quantity of graduates from higher educational establishments and secondary specialized colleges in Murmansk region. The main parameters used in the mathematical model of the subject area were selected and the forecast of total quantity of graduates was obtained.

Keywords:

quantity of graduates, mathematical model, simulation model.

Введение

Важнейшим условием стабильного развития региона является обеспечение базовых отраслей и основных сфер деятельности экономики региона кадрами. Эффективность кадровой политики во многом зависит от того, насколько согласуются рыночные ориентации образования с государственными интересами, общенациональными и региональными приоритетами. Удовлетворение стихийного спроса на определенные специальности в отрыве от объективных потребностей развития области приводит к серьезным диспропорциям на рынке людских ресурсов, а именно, несоответствие спроса и предложения рабочей силы [1].

Применение надежных инструментов прогнозирования экономического развития региона позволит достичь баланса на рынке труда и перераспределить ресурсы в соответствии с задачами инновационного развития экономики, выявить несоответствия планов социально-экономического развития региона с их возможностями (технологическими, кадровыми и т.д.) и проработать различные сценарии и способы достижения поставленных целей социально-экономического развития.

За последние годы предложено немало подходов к прогнозированию потребности экономики в квалифицированных кадрах, определены механизмы воздействия государственной власти в данной области, а также разработаны рекомендации относительно возможностей апробации в России зарубежного опыта [2-5].

Система образования является основным источником, обеспечивающим вливание квалифицированной рабочей силы на рынок труда. В настоящее время в Мурманской области действует 28 образовательных учреждений высшего профессионального образования и их филиалов, из них 15 государственных и 13 негосударственных. Также на территории региона существует 32 средних специальных учебных заведений, из них 9 филиалов. В вузах области обучается 25,4 тыс. человек, из них на бюджетной основе - 5,6 тыс. человек, на договорной (платной) – 19,8 тыс. человек. Обучение в учебных заведениях осуществляется по 204 направлениям подготовки (специальностям), которые охватывают 21 из 28 основных укрупненных направлений.

В Мурманской области наибольший спрос ведется на такие направления, как «Экономика и управление» и «Гуманитарные науки», доля которых составляет 38% и 19% от общего объема [6], что приводит к переизбытку кадров в данных областях экономики, а снижение общего контингента студентов (с 39,7 тыс. до 25,4 тыс. студентов за период с 2004 по 2012 год) приводит к уменьшению выпуска квалифицированных кадров.

Моделирование ситуации, сложившейся в сфере образовательных услуг Мурманской области, позволит проанализировать имеющиеся тенденции развития и уже по полученным данным сделать вывод относительно распределения мест по специальностям.

Математическая модель

На протяжении нескольких лет на базе Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН ведутся разработки информационной технологии поддержки управления кадровой безопасностью региона, представляющую собой интеграцию комплекса имитационных моделей и специального программного обеспечения [7].

Данный комплекс состоит из следующих основных блоков (подмоделей):

- 1) трудовые ресурсы (для каждой базовой отрасли региона);
- 2) система образования;
- 3) отрасль производства, в том числе предприятия и персонал;
- 4) население региона;
- 5) фонд перераспределения трудовых ресурсов.

Необходимость разработки модели системы образования связана с:

- недостаточно эффективной системой прогнозирования и мониторинга кадровой потребности региона по уровням образования и профессиям;
- отсутствием механизмов взаимодействия административных структур власти, бизнеса и учебных заведений профессионального образования регионов по вопросам прогнозирования кадровой потребности (с учетом формирования перспективных рынков труда) и мониторинга трудоустройства выпускников по профессии (специальности);

- отсутствием инструментов регулирования баланса спроса и предложения на рынке труда региона и регламентов формирования контрольных цифр приема на подготовку кадров по уровням образования (высшее, среднее, начальное);

- введением новой системы выпуска специалистов (бакалавриат, магистратура, специалитет).

Анализ деятельности в сфере образовательных услуг региона, а именно потоков приема и выпуска студентов высших и средних специальных учебных заведений, а также различных показателей позволил выделить основные параметры и их зависимость от других элементов разрабатываемой модели.

Для вузов было рассмотрено 19 групп специальностей: физико-математические науки; естественные науки; гуманитарные науки; социальные науки; образование и педагогика; здравоохранение; культура и искусство; экономика и управление; геология, разведка и разработка полезных ископаемых; энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника; авиационная и ракетно-космическая техника; морская техника; транспортные средства; электронная техника, радиотехника и связь; автоматика и управление; информатика и вычислительная техника; технология продовольственных продуктов и потребительских товаров; архитектура и строительство; безопасность жизнедеятельности, природообустройство и защита окружающей среды. Для сузов рассмотрено 16 групп специальностей: гуманитарные науки; образование и педагогика; здравоохранение; культура и искусство; экономика и управление; сфера обслуживания; сельское и рыбное хозяйство; геология, разведка и разработка полезных ископаемых; энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника; металлургия, машиностроение и материалобработка; морская техника; транспортные средства; электронная техника, радиотехника и связь; информатика и вычислительная техника; технология продовольственных продуктов и потребительских товаров; архитектура и строительство.

Одним из основных показателей, рассматриваемых в модели, является динамика изменения численности студентов, которая описывается следующими дифференциальными уравнениями:

- Студенты вузов:

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = \text{поступ}_{\text{бак}_i}(M, A, t) + \text{поступ}_{\text{специ}_i}(M, A, t) - \text{выпуст}_{\text{бак}_i}(t) - \text{выпуст}_{\text{специ}_i}(t) - \text{отчисл}_{\text{бак}_i}(t) - \text{отчисл}_{\text{специ}_i}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n - количество рассматриваемых групп специальностей;

$\text{поступ}_{\text{бак}_i}(M, A, t)$ - число поступивших студентов на i -ую специальность, направление – бакалавриат (M - количество мест, A - количество абитуриентов);

$\text{поступ}_{\text{специ}_i}(M, A, t)$ - число поступивших студентов на i -ую специальность, направление – специалитет;

$выпуст_бак_i(t)$ - число выпускающихся бакалавров по i -ой специальности (срок обучения 4 года);

$выпуст_спец_i(t)$ - число выпускающихся специалистов по i -ой специальности (срок обучения 5 лет);

$отчисл_бак_i(t)$ - количество отчислившихся бакалавров по i -ой специальности;

$отчисл_спец_i(t)$ - количество отчислившихся специалистов по i -ой специальности.

• Студенты ссузов:

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = поступ_i(M, A, t) - выпуск_i(t) - отчисл_i(t), \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где m – количество групп специальностей средних специальных учебных заведений;

$поступ_i(M, A, t)$ – число поступивших студентов в ссузы на i -ую специальность;

$выпуст_i(t)$ - число выпускающихся студентов из ссузов по каждой специальности (срок обучения 4 года);

$отчисл_i(t)$ - количество отчислившихся студентов ссузов.

Здесь приведена только часть разработанной математической модели, которая является основой для создания системно-динамической модели.

Системно-динамическая модель

Модель можно разбить на два блока: «Вузы» и «Ссузы», ее фрагменты представлены на рис. 1, 2.

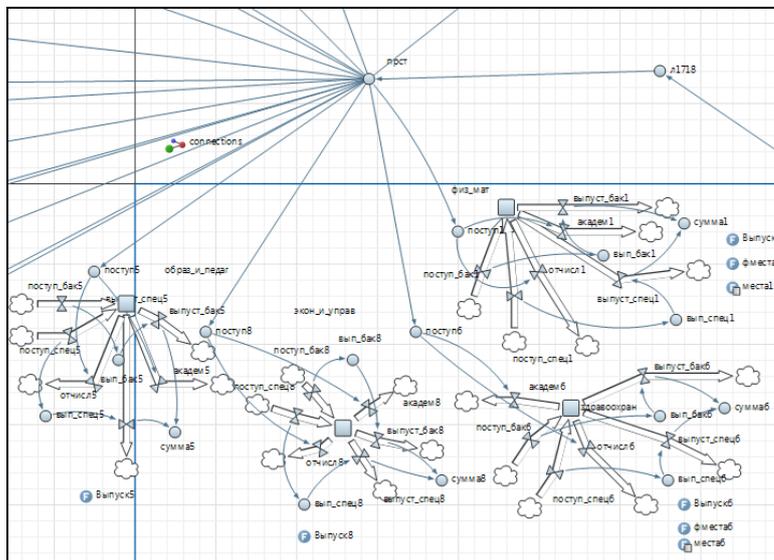


Рис. 1. Фрагмент блока "Вузы"

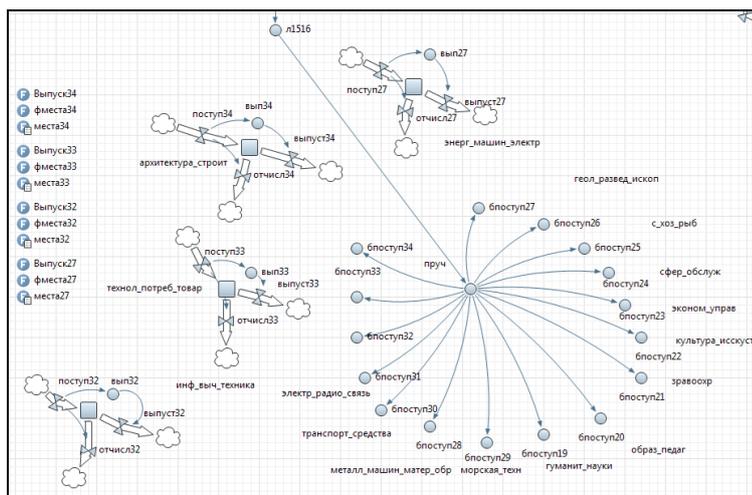


Рис. 2. Фрагмент блока "Сузы"

Для проверки адекватности модели было проведено сравнение статистических и модельных данных. Результаты сравнения представлены в табл. 1-2 (по некоторым специальностям) и на рис. 3.

Таблица 1

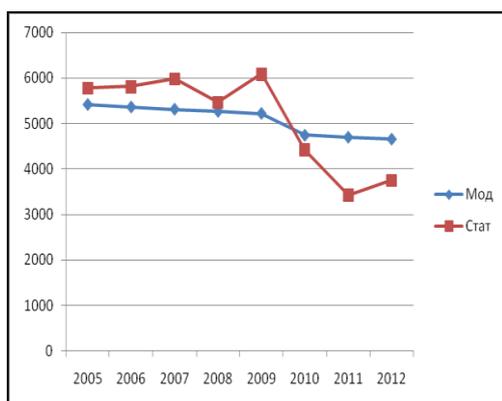
Выпускающиеся студенты вузов Мурманской области

Группы специальностей	Отклонение
«Информатика и вычислительная техника»	5%
«Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника»	4%
«Экономика и управление»	7%
«Социальные науки»	7%
«Гуманитарные науки»	6%
«Естественные науки»	4%
«Физико-математические науки»	14%
По всем группам специальностей	12%

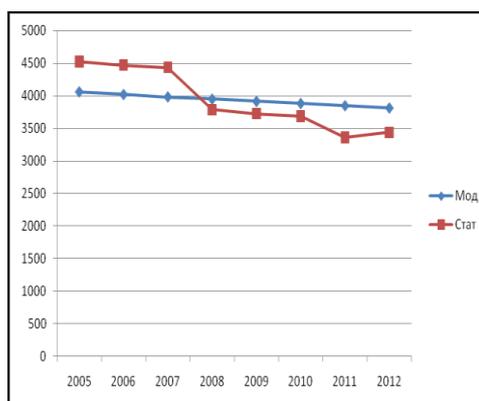
Таблица 2

Выпускающиеся студенты ссузов Мурманской области

Группы специальностей	Отклонение
«Гуманитарные науки»	13%
«Экономика и управление»	15%
«Технология продовольственных продуктов и потребительских товаров»	13%
«Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника»	11%
«Культура и искусство»	13%
«Здравоохранение»	8%
По всем группам специальностей	8%



а) вузы



б) ссузы

Рис. 3. Общее количество выпускающихся студентов

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что в среднем данные по вузам отличаются от статистических на 12%, а по ссузам - на 8%.

Результаты моделирования

В модели учтена возможность регулирования количества мест, выделяемых на каждую специальность, и предусмотрено разделение студентов вузов на бакалавров и специалистов.

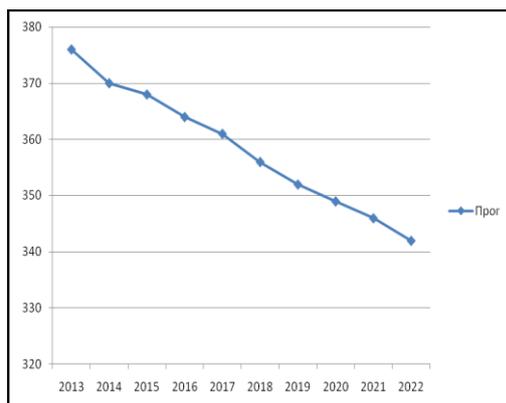
Использование данной модели, путем введения различных значений количества мест, выделяющихся на каждую специальность, дает возможность получить прогноз общего количества выпускников. В табл. 3 приведены примеры прогноза для группы специальностей вузов «Гуманитарные науки» и группы специальностей ссузов «Экономика и управление».

Таблица 3

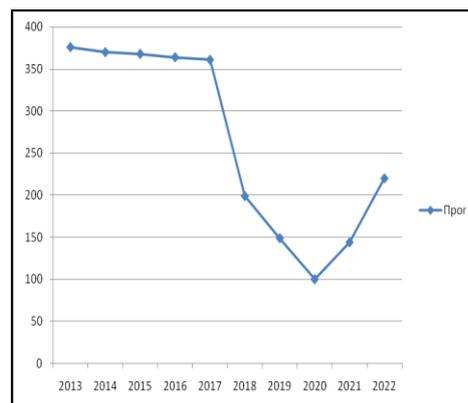
Прогноз количества выпускников

Год поступления / год выпуска	Гуманитарные науки		Экономика и управление	
	Количество мест	Количество выпускников	Количество мест	Количество выпускников
2014 / 2018	240	199	567	470
2015 / 2019	180	149	669	555
2016 / 2020	120	100	386	320
2017 / 2021	175	144	481	400
2018 / 2022	265	220	506	420

Ниже представлены графики прогнозирования без учета введенных значений количества мест и с учетом этих значений:

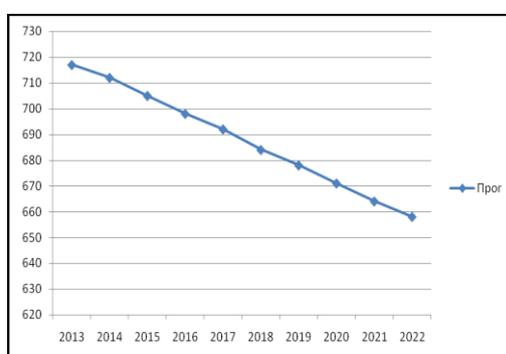


а) без учета изменения количества мест на специальность

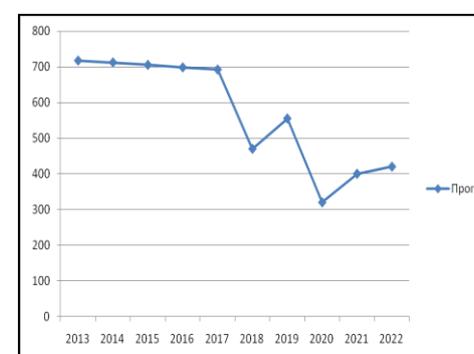


б) с учетом изменения количества мест на специальность

Рис. 4. Прогноз количества выпускающихся студентов «Гуманитарные науки»



а) без учета изменения количества мест на специальность



б) с учетом изменения количества мест на специальность

Рис. 5. Прогноз количества выпускающихся студентов «Экономика и управление»

Полученный прогноз является пессимистичным. Это связано с уменьшением численности населения, что приводит к уменьшению количества абитуриентов.

Заключение

Проверка адекватности модели дает возможность сделать вывод о том, что данные, полученные при моделировании, отличаются от статистических в среднем на 9%. Это позволяет использовать разработанную модель как часть комплекса, предназначенного для моделирования трудовых ресурсов Мурманской области.

Литература

1. Бершадский, А.М. Интеграция технологий OLAP и ГИС для поддержки процесса управления в системе образования / А.М. Бершадский, А.С. Бождай, П.А. Гудков, А.И. Дударенко // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе: материалы XXX юбилейной Междунар. конф., и I Международная конф. молодых ученых, Украина, Крым, 19-28 мая. -Ялта; Гурзуф, 2003. - С.273-274.
2. Олейник, А.Г. Инструментальные средства интерактивного формирования имитационных моделей деятельности региональной системы профессионального образования / А.Г. Олейник, А.Н. Лексиков // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макро-системами.- Т.39. - М., Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2008. - С.267-276.
3. Андреева, Н.В. Прогнозирование потребности в кадрах с высшим профессиональным образованием при инновационном сценарии развития Владимирской области / Н.В. Андреева, Т.Н. Козлова // Региональная экономика: теория и практика. – №37 (316). – 2013. – С.16-21.
4. Анализ обеспечения потребностей региональной экономики за счет кадров с различным уровнем профессионального образования / В.Н. Васильев и др. // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сборник докладов Второй Всероссийской научно-практ. Интернет-конф., 26–27 октября 2005 г. - Кн. I. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. – С.3-75.
5. Разработка имитационных моделей кадровых потребностей базовых отраслей региональной экономики (на примере Мурманской области) / В.В. Быстров и др. // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета. - Мурманск: МГТУ. - Т.17. - №1, 2014. - С.30-39.
6. Кольская энциклопедия: Образование. - Режим доступа: <http://kolaenc.gov-murmansk.ru/education/edu>.
7. Быстров, В.В. Информационная технология поддержки управления кадровой безопасностью региона / В.В. Быстров, А.В. Маслобоев // Наука и образование – 2013 [Электронный ресурс]: Международная научно-техн. конф., г. Мурманск, 4–11 марта 2013 г. / Федер. агентство по рыболовству; Федер. гос. бюджетное образоват. учреждение высш. проф. образования Мурманский гос. техн. ун-т, 2013. - С.450-454.

Сведения об авторах

Халиуллина Дарья Николаевна – младший научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.net.ru

Darya N. Khaliullina - junior research scientist

Малыгина Светлана Николаевна - к.т.н., научный сотрудник,
доцент кафедры бизнес-информатики КФ ПетрГУ,
e-mail: malygina@iimm.net.ru

Malygina Svetlana – Ph.D. (Tech. Sci.), researcher, associate professor

Менькова Анастасия Александровна – инженер
e-mail: menkoffka@rambler.ru

Menkova Anastasiya – engineer

УДК 004:[614.89+351]

А.А. Рыженко

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Москва)

МЕХАНИЗМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СКОЛОВ И ОСКОЛКОВ РАЗРУШЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Аннотация

Проблемы дистанционного управления силами и средствами при ликвидации ЧС и пожаров актуальны. Важную роль играют методы моделирования текущей обстановки. В статье представлен усовершенствованный механизм визуализации разрушений зданий и сооружений сложной формы.

Ключевые слова:

модель, информационная система, компьютерная графика, дуализм.

A.A. Ryzhenko

THE MECHANISM OF MODELLING OF CHIPS AND SPLINTERS OF THE DESTROYED OBJECTS OF THE DIFFICULT FORM

Abstract

Problems of remote control of forces and means at elimination of an emergency and the fires are actual. An important role is play by methods of modeling of the current situation. The advanced mechanism of visualization of destructions of buildings and constructions of a difficult form is present in article.

Keywords:

model, information system, computer graphics, dualism.

Введение

Использование геоинформационных систем с поддержкой управления в структурах и подразделениях МЧС России, способных моделировать и отображать текущую обстановку на основе снимков стационарных спутников и цифровых изображений оперативной выездной бригады, позволяет более эффективно принимать решения территориально удаленной экспертной комиссией. Тем не менее, существует ряд проблем в адекватном отображении информации, в частности, целостного моделирования разрушений сложных объектов. Данная задача обоснована постоянными конфликтами между собственниками разрушенных объектов и сотрудниками МЧС при проведении аварийно-восстановительных работ. Как правило, собственник требует полного восстановления объекта с минимальными затратами, что не всегда возможно.

Обзор информационных технологий позволил сделать вывод, что существующие графические ядра либо не позволяют отображать в трехмерном виде с достаточной степенью детализации разрушенные здания и сооружения [1, 2], либо требуют избыточных аппаратных ресурсов. В работе предлагается усовершенствованный механизм и алгоритм его использования для визуализации объектов сложной формы с применением метода дуального моделирования [3, 4].

В качестве исходных данных используются оцифрованные эскизы и экспликации зданий и сооружений, а также цифровые фотоизображения в растровом формате. На предварительном этапе происходит векторизация

элементов с применением алгоритмов распознавания образов. Модификация классических механизмов перевода растра в вектор не является задачей данной работы. Как следствие, результатом этапа является частичный перевод в векторный аналог, формируются только прямые линии, ломанные или кривые, попадающие под алгоритм Безье кривых третьего порядка. Дальнейшее комплексное применение двух полученных типов графики дает материал для анализа и обработки исходных данных.

Результат предварительной обработки (векторизация экспликаций) дает проволочный каркас модели объекта до момента разрушения. Использование растрового изображения для формирования текстурной «шкуры» (*skin*) «натянутой» на полученный каркас позволяет отобразить модель реального объекта (рис. 1). Тем не менее, при проектировании разлома кромка разрушений может иметь хаотичный профиль, что не всегда можно задать сеткой триангуляции, так как бесконечное уменьшение размеров векторных полигонов не может привести к нужному результату. В качестве дополнительного инструмента предлагается использовать воксельную графику.

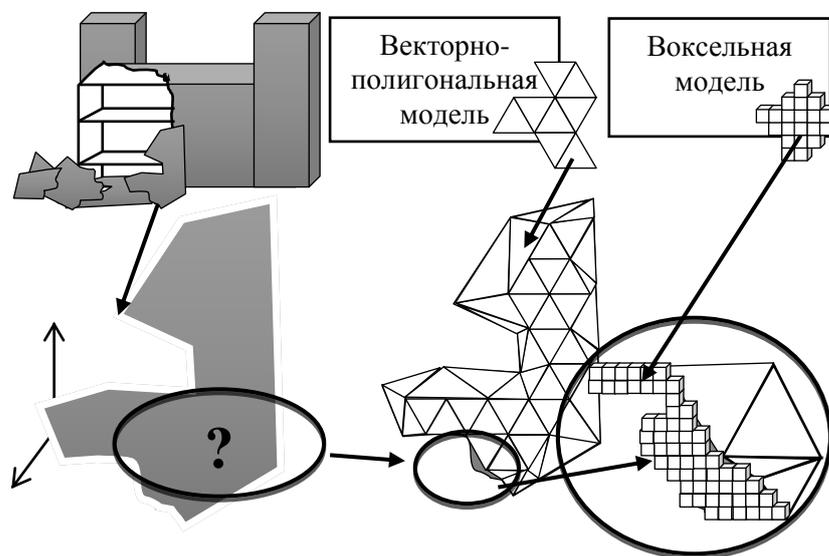


Рис. 1. Пример необходимого элемента для дуального моделирования

На рис. 2 представлен алгоритм возможного применения комбинации двух типов трёхмерной графики в единой системе координат.

Алгоритм моделирования осколков фрагментов разрушенного объекта можно представить следующей последовательностью действий (рис. 2):

- на основе векторных эскизов экспликаций зданий и сооружений строится каркасная модель проектируемого объекта сложной формы;
- полученный векторный каркас заполняется текстурами;
- дальнейшая частичная векторизация фотоизображений разлома (разрушений) дает представление (модель) фрагмента;
- используя модель отчуждения разбиений (*эффект пазла*), на оцифрованных фотоизображениях производится поиск фрагментов и осколков;
- осколки моделируются в виде триангулярной векторно-полигональной сетки, затем собираются в фрагменты;

– заполнение остаточных пустот фрагментов (для дальнейшей детализации) производится путем вокселизации сколов.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования осколков объекта разрушения

Механизм применения двух автономных типов графики в единой системе координат (основанный на принципе дуализма), представлен на рис. 3. В качестве направляющего основания для формирования воксельной модели используется крайний вектор полигона, который не имеет двух замыкающих векторов и не образует полигон. Причем в механизме нет жесткой зависимости от триангулярной архитектуры полигона или сложности полигональной сетки.

Определяющей подложкой, как правило, выступает растровое изображение, отображающее форму заполнения пустоты (например, на основе оцифрованного снимка места разрушения). При отсутствии подложки, вокселями заполняется пространство между не соприкасающимися полигонами или векторами, т.е. между полигонами соседних фрагментов разрушений или их осколков.

Для каждого случая заполнения вокселями пустот отдельно рассматривается сценарий, когда не удастся достичь поверхности второго полигона. В качестве эффективного инструмента решения данной проблемы используется направляющий вектор нормали от проецируемой поверхности.

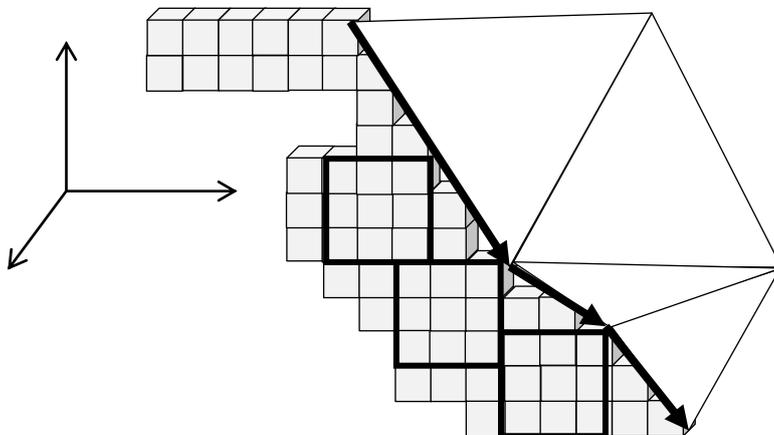


Рис. 3. Принцип построения трёхмерной модели с использованием дуального метода

Блок-схема алгоритма построения воксельной поверхности на основе одного направляющего вектора представлена на рис. 4.



Рис. 4. Блок-схема алгоритма формирования воксельной поверхности на основе одного направляющего вектора

Принцип построения модели разрушенного фрагмента объекта, а также механизм взаимодействия двух автономных типов компьютерной графики при заполнении вокселями оставшихся пустот в общем виде представлен на рис. 5. Каждый крайний вектор ребра образует подложку и направление для основания построения воксельной поверхности. Подложкой выступает комплексное многослойное растровое изображение разрушений.

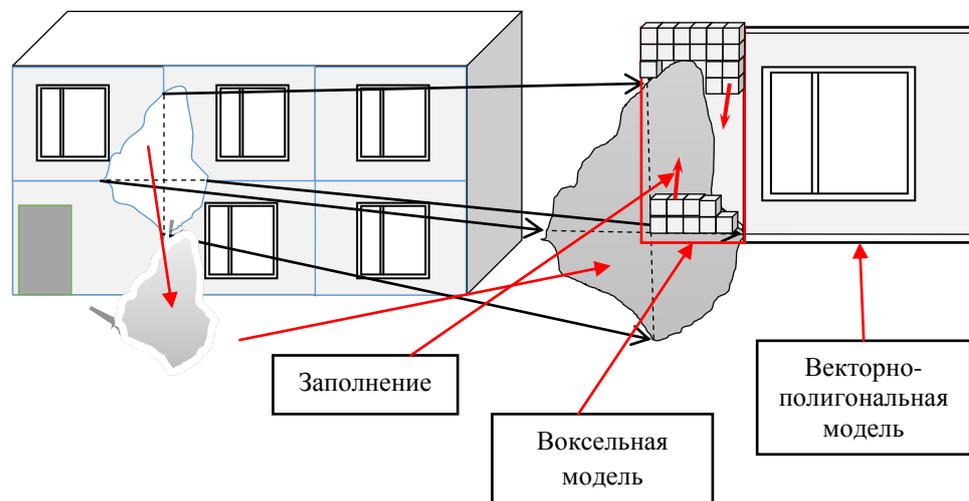


Рис. 5. Пример моделирования разрушений здания и его последующая обработка

Малые соседние воксели объединяются, образуя более крупные, обрабатываемые алгоритмом далее как один воксель. Особенность укрупнения (построения больших) вокселей, имеющих одинаковую подложку (основание) в схематичном представлении, отображена на рис.6.

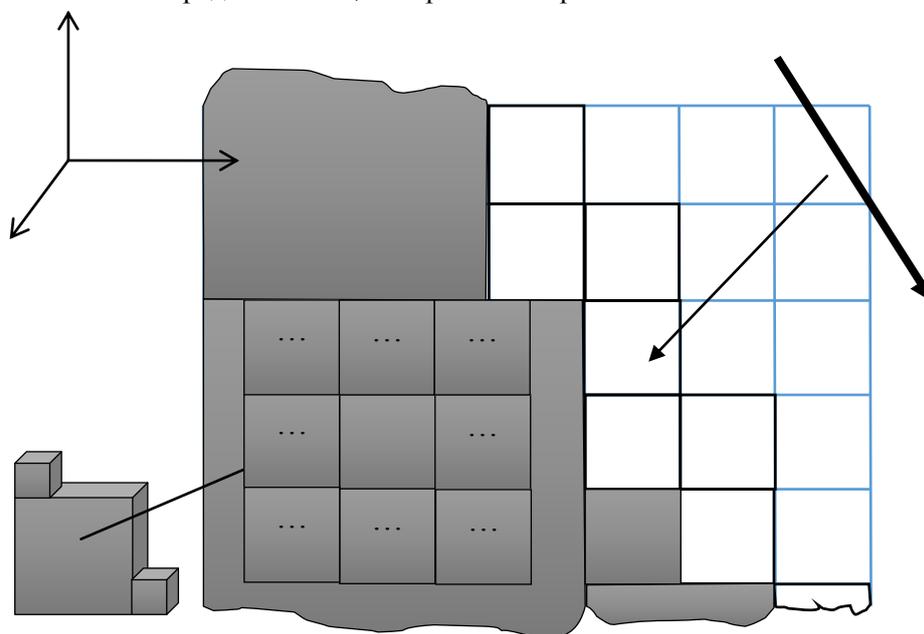


Рис. 6. Приближенная схема примера дуального моделирования

Блок-схема алгоритма формирования укрупненных (больших) вокселей на подложке одного цвета с использованием функционала теоретических инструментов октодера представлена на рис. 7.

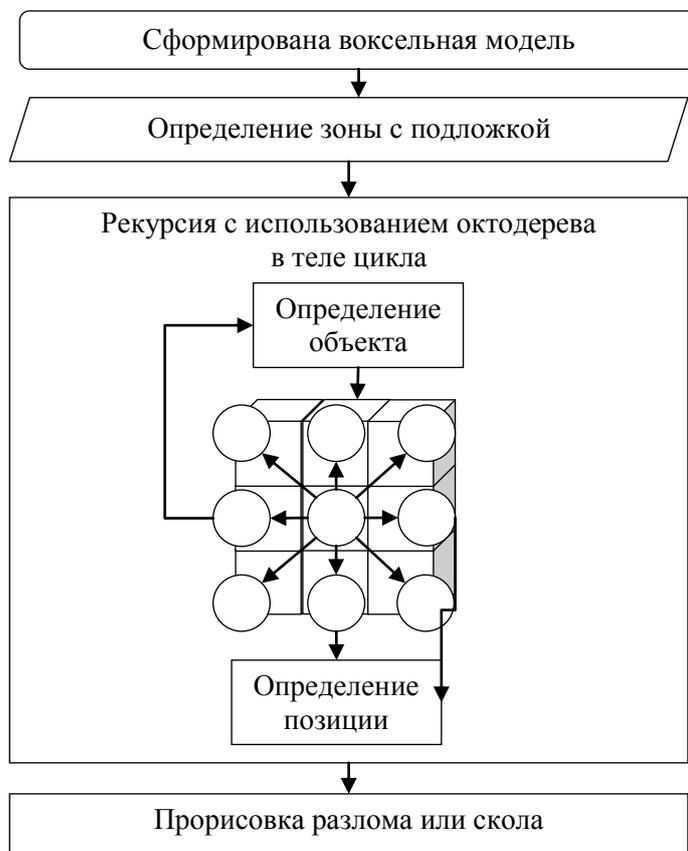


Рис. 7. Блок-схема использования октодера для построения воксельной поверхности

Для формирования формальной составляющей полученного механизма определим общий кортеж, описывающий графическую модель разрушения объектов сложной формы:

$$B = \langle c, f, x, a \rangle,$$

где B – проектируемая модель разрушенного фрагмента, c – векторная модель каркасной части, f – воксельная модель детализации поверхности скола, x – определяемая степень свободы в системе координат, $a \in (a_i; a_j | a_i \cap a_j = 0)$ – элемент множества в пределах целого, определяющий минимальный элемент графической модели построения.

$$\sum_{i=0}^n a_i \rightarrow [1, m], \text{ где } n \in [1, \infty), m \in [0, n],$$

где a_i – элемент множества положительно направленных векторов, m – показатель целого, n – произвольный целый элемент.

$$\sum_{j=k}^0 a_j \rightarrow [l, -1], \text{ где } k \in [-\infty, -1), l \in [0, k],$$

где a_j – элемент множества отрицательно направленных векторов,

l – показатель целого, k – произвольный целый элемент.

Причем:

$$\begin{cases} [c_{mn}] = [0,1] \rightarrow a_0, \\ [c_{mn}] = [f] = \overline{lev} \rightarrow a_m \\ [f] = lev \rightarrow a_n. \end{cases}$$

где lev – коэффициент, определяющий уровень детализации (с чертой – для вектора), $lev = \{lev_i | i \in N_{lev}\}$.

Другими словами, один вектор порождает множество вокселей, которые могут объединиться в более крупный, либо быть частью нескольких множеств параллельно. Причём возможное количество вокселей имеет чёткие границы (показатель целого). Нижнюю границу определяет величина вектора, верхнюю – точечная длина вектора или множество допустимых значений вектора-строки в используемом множестве – условие автономности.

Рассмотрим задачу использования метода на следующем примере: вследствие локального взрыва разрушилась стена двухэтажного здания промышленного предприятия (без обрушения стены). Предварительный анализ показал, что образовалось пять больших фрагментов. К аварийно-восстановительным работам привлечена внешняя (территориально удаленная) комиссия. Задание: необходимо провести анализ исходных данных, построить формулу моделирования процессов разрушенного объекта.

Проблемная составляющая: при композиции хаотичной составляющей смешанных осколков фрагмента последствий разрушений возможно множество сценариев, например:

- несколько осколков разрушений определяют один фрагмент моделируемого здания;
- один осколок определяет несколько фрагментов;
- один осколок является осколком нескольких фрагментов и т.д.

Механизм решения задачи:

На первом этапе, используя представленный метод, проведем аналогию с рис. 5 в ограничениях условия решаемой задачи (рис. 8). Особенностью данной задачи выступает фрагмент из осколков «1», «7», «8» и «9», представляющий не плоский монолит, а T -образный осколок разрушенного здания. Следовательно, в описываемый ранее алгоритм необходимо внести еще одну переменную, учитывающую направление несущего для дальнейшего заполнения вектора, а формируемая воксельная модель пустот будет иметь разрыв.

Более сложный вариант модели может содержать крестообразный или другой формы осколок разрушенного фрагмента, тем не менее, практика показала, что введение одной дополнительной переменной достаточно.

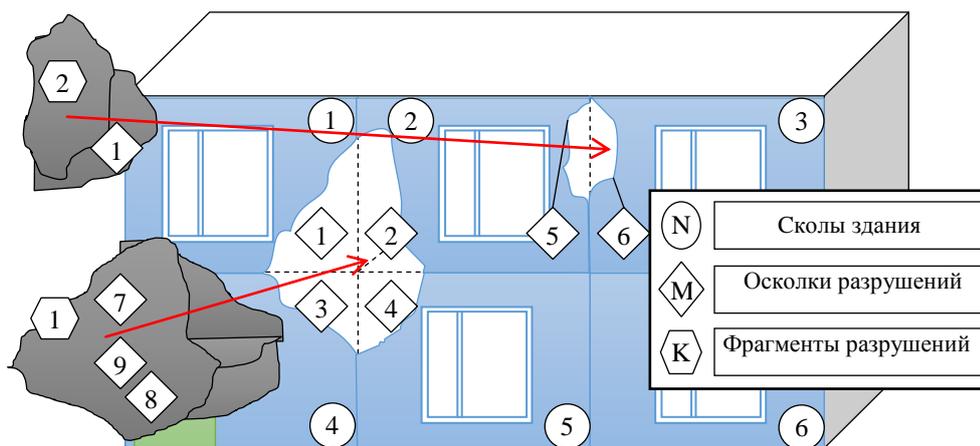


Рис. 8. Пример моделирования разрушений в условиях задачи

Для рассматриваемой задачи алгоритм нахождения решения следующий (рис. 9):

1. В квадратных скобках суммируются действующие автономные компоненты. Например, $[2 + 1 + 4]$ – осколки первого фрагмента, «2» и «1» на внутренних стенах и «4» на внешней, и $[1 + 2]$ – осколки второго фрагмента, «1» на внутренней и «2» на внешней. Рассматривается правая система координат, следовательно, отрицательные значения не учитываются.

2. В правую часть выносится текущее значение целого (для данной задачи – «5», количество сколов здания). Под стрелкой указывается максимальное значение целого. Оно может совпадать или не совпадать с текущим показателем (для данного примера – «6», количество осколков образующих внешнюю стену).

3. В левой части индексами обозначаются элементы целого, входящие на текущий момент (или по результату действия) в текущее значение целого – текущие элементы целого. Например, « 2_5 ».

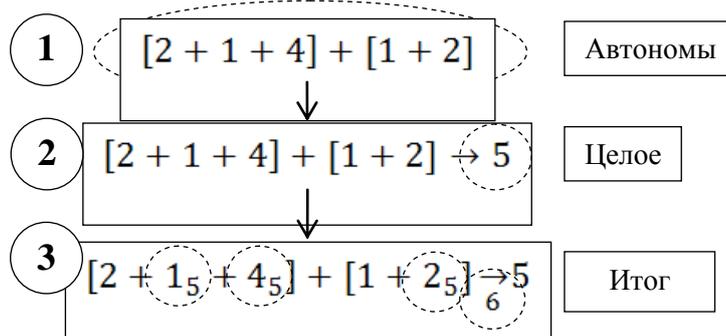


Рис. 9. Алгоритм действия «внутри от целого»

Применение данного алгоритма возможно для любого количества элементов (осколков, сколов и фрагментов). Используя представленный выше сценарий, получаем итоговое выражение:

$$[2 + 1_5 + 4_5] + [1 + 2_5] \rightarrow 5_6$$

Представленные алгоритмы можно визуализировать с использованием классической теории множеств (диаграммы Эйлера-Венна). При этом необходимо уточнение: атомарный элемент множества представлен также только в виде множества, причем каждый одновременно автономен и является частью другого автономного множества (рис. 10).

При этом необходимые для решения условия не выполняются:

- нельзя объединять разные элементы разных множеств;
- объединение элементов одного множества не равно объединению этих же элементов вызванных повторно.

Следовательно, классические методы работы с множествами для данных задач требуют введения дополнительных условий и элементов [5].

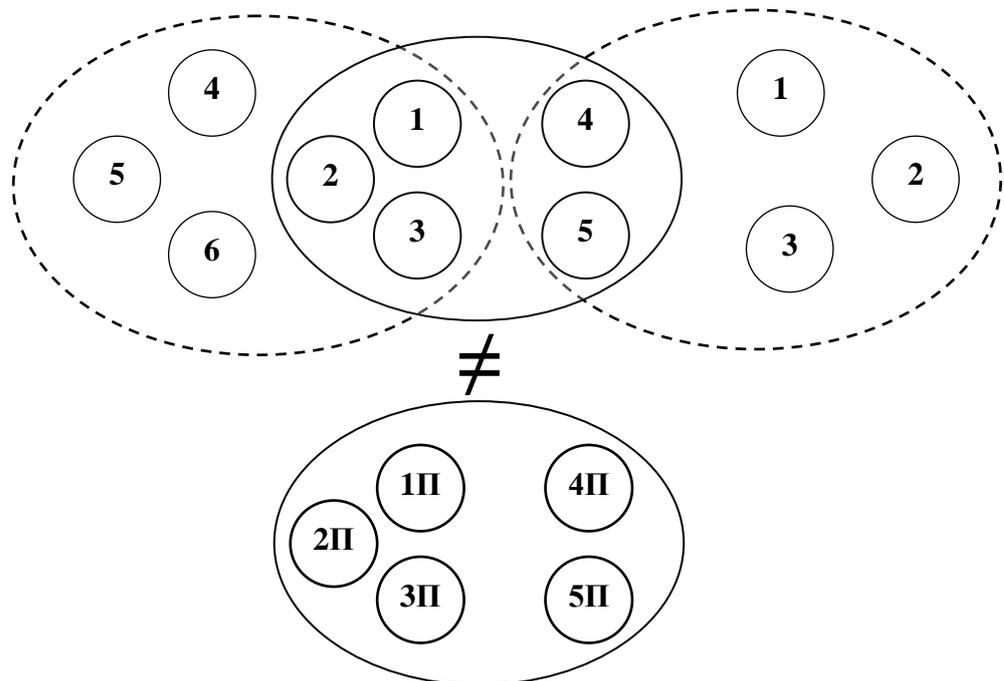


Рис. 10. Пример использования диаграммы Эйлера-Венна

В результате решение поставленной задачи свелось к одному из видов решеток – кольцо в пределах единого целого на множестве решений.

На следующем этапе выполнено моделирование объектов сложной формы с использованием принципов дуализма на автономных компонентах. Особенностью построения является вид прорисовки элементов воксельной графики, где описание каждого вокселя (в виде кубика) выполнено не вершинами, а гранями (рис. 11). При этом повторяющиеся и тыльные грани не прорисовываются (рис. 12).

Данный метод проектирования трехмерных примитивов на начальном этапе моделирования требует больше аппаратных ресурсов, чем вершинный и реберный методы. Тем не менее, при удалении из массива не прорисованных полигонов показатели значительно снижаются. Данная технология используется в таких графических редакторах, как 3D Studio MAX или Maya.

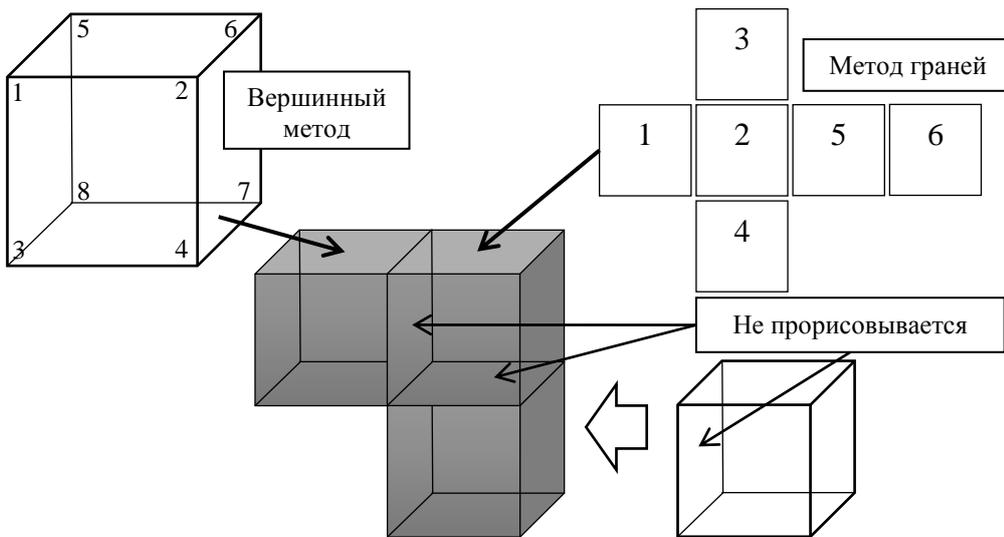


Рис. 11. Использование приграничного метода граней при построении воксельной фигуры

Алгоритм формирования воксельной модели разлома:

- в используемой системе координат центр «0,0,0» определяется зависимым по отношению к вершинам каждого вокселя (кубика);
- первый отображенный воксель становится базовым;
- каждый последующий прилегающий к граням базового вокселя, прорисовывается не полностью, а только те его грани, которые не совпадают с предыдущим вокселем (рис. 11) и видимы по отношению к углу обзора (рис. 12);
- определяется матрица преобразования координат по отношению ко всей полученной модели, а не к каждому вокселю отдельно;
- преобразование модели (поворот, смещение и растяжение-сжатие) применяется к каждому вокселю, в том числе и укрупненному.

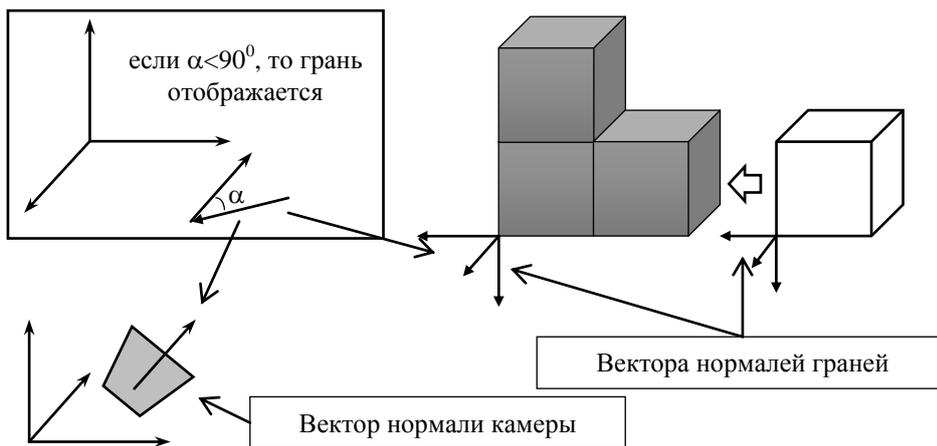


Рис. 12. Пример отсечения тыльных граней вокселей

В результате решение поставленной задачи свелось к группе в пределах единого целого, а получаемая воксельная модель на векторном полигоне – визуализация полученной решётки.

Заключение

Использование представленного механизма визуализации трехмерной модели сложной формы путем композиции двух независимых типов компьютерной графики позволяет более детально отображать объекты, такие как разрушения, сколы, осколки и т.п. Процесс использования дуального моделирования позволяет экономить используемые ресурсы за счет выделения необходимых диапазонов только для определенных задач. Особенностью данного механизма является статичность обработки начальных данных. Фактически, при динамическом изменении атрибутов (например, координат) действуют только механизмы последнего этапа. При этом каркас модели остается не изменяемым. Дополнительным эффектом также можно считать возможность полного разрушения модели с точностью до минимального элемента.

Литература

1. Рыженко, А.А. Распределенная система индивидуального оповещения в случае ЧС на крупных промышленных площадках / А.А. Рыженко, Р.Ш. Хабибулин // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 4. – 4/2013(17).– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – 2013. – С.103-109.
2. Рыженко, А.А. Разработка графического компонента трёхмерной модели регионального промышленно-природного комплекса (на примере Хибинского горнорудного района) / А.С. Шемякин, А.А. Рыженко, С.Ю. Яковлев и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 2. – 4/2012(7).– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. – С.156-163.
3. Рыженко, А.А. Способ моделирования разрушенных зданий при анализе материалов страхового фонда документации по чрезвычайным ситуациям [Электронный ресурс] / И.А. Максимов, Н.Г. Топольский, А.А. Рыженко // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – Вып. 2(54). – 2014. – Режим доступа: (<http://ipb.mos.ru/ttb>).
4. Рыженко, А.А. Дуальное моделирование обработки графических данных системы поддержки управления аварийно-восстановительными мероприятиями. Монография. / Н.Г. Топольский, И.А. Максимов, А.А. Рыженко. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 149 с.
5. Рыженко, А.А. Использование метода трёхмерного моделирования разрушений / И.А. Максимов, Н.Г. Топольский, А.А. Рыженко и др. // Системы безопасности – 2013: материалы 22-й Международной научно-техн. конф. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С.389-391.

Сведения об авторе

Рыженко Алексей Алексеевич – к.т.н., научный сотрудник

e-mail: litloc@rambler.ru

Alexey A. Ryzhenko – Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher

А.Г. Олейник^{1,3}, В.Ф. Скороходов², В.В. Бирюков²

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Горный институт КНЦ РАН

³ Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТОПОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Аннотация

Предложен алгоритм функционирования программного модуля автоматизированной генерации топологий энерго – ресурсосберегающих технологических схем обогащения минерального сырья, реализующий принцип сокращения материальных потоков поступающих в циклы измельчения. В алгоритме используются: математический аппарат модификации функции распределения частиц по крупности Розина – Раммлера; бета функция раскрытия полезного компонента при рудоподготовке; функции распределения характеристик в операциях разделения.

Ключевые слова:

технологическая схема обогащения, компьютерное моделирование, функция распределения, алгоритм синтеза топологии.

A.G. Oleynik, V.F. Skorokhodov, V.V. Birurov

THE ALGORITHM FOR PROGRAM MODULE FUNCTIONING OF THE AUTOMATIC TOPOLOGY SELECTION FOR THE PROCESS FLOWSHEET OF MINERAL ORE CONCENTRATION

Abstract

The algorithm of the software module functioning which automatically generates of topologies energy and resource-saving technological schemes of mineral processing is suggested. The algorithm implements the principle of reduction of material flows entering to the grinding circuit. Mathematical apparatus of the distribution function modification of particle size Rosin – Rammmler, beta function of the useful component disclosure at the ore pretreatment, the distribution functions for characteristics in the separation operations are used in the algorithm.

Keywords:

process flowsheet of concentration, computer simulation, the distribution function, algorithm of topology synthesis.

Создание новых инвестиционно–привлекательных проектов разработки месторождений полезных ископаемых и проектирование новых обогатительных предприятий требует проектирования новых энерго-ресурсоэффективных технологических схем, что достигается широким использованием компьютерных технологий имитационного моделирования.

Анализ работы многочисленных программных комплексов моделирования технологических схем обогащения минерального сырья, таких как JK Sim Met [1], CHEMCAD, USIM PAC [2], программного комплекса компании Andritz Automation Inc для моделирования схем дробления – измельчения –

классификации [3], MODSIM [4], показывает, что их общим недостатком является невозможность автоматизированной генерации топологии «экономичной» технологической схемы переработки минерального сырья. Этим обусловлена актуальность создания специализированного программного модуля, который позволит в автоматизированном режиме генерировать наиболее экономичную технологическую схему обогатительного предприятия на основе определенных критериев и с учетом имеющихся ограничений [5-8].

Имитационное моделирование переработки минерального сырья с использованием существующих инструментальных средств состоит из нескольких последовательных этапов:

1. Этап описания перерабатываемой руды. На данном этапе необходимо иметь возможность задания структурно – текстурных особенностей перерабатываемой руды, ее минералогического и химического состава. Реализация этого этапа в требует наличия в составе средств моделирования базы данных о физических, химических, физико–химических свойствах минералов, а также специализированного диалогового модуля задания характеристик перерабатываемого сырья путем выбора из базы данных, либо прямого ввода. На этом этапе определяются основные технологические параметры модели, такие как содержание полезного компонента в концентрате и в отвальном продукте, а также производительность моделируемой технологической схемы.

2. Этап генерации технологической схемы переработки исходного сырья. Данный этап может реализовываться «вручную», когда пользователь на основе своих знаний и опыта формирует схему в диалоговом режиме с использованием библиотеки моделей технологического оборудования, включенной в состав среды моделирования.

3. Этап вычислительного эксперимента. На данном этапе программа должна произвести детальный пофракционный балансовый расчет всех моделируемых технологических потоков продуктов с заданной заранее точностью.

4. Этап вывода информации, полученной в результате проведения вычислительного эксперимента (постпроцессинга). На данном этапе пользователь должен иметь возможность получить необходимую ему информацию в виде таблицы, графика или диаграммы о химическом, минералогическом, дисперсном составе всех технологических потоков для проведения последующего анализа и по необходимости внесении изменений в технологическую схему.

Однако более перспективной представляется автоматическая генерация схемы с использованием специального модуля, обеспечивающего количественную оценку характеристик для различных вариантов топологии схемы. В этом случае второй этап совмещается с третьим, и генерация эффективной топологии производится в несколько итераций, в результате которых выбирается вариант с лучшими (по заданным критериям) выходными характеристиками. Но и в этом случае пользователь должен иметь возможность ручной коррекции автоматически разработанной технологической схемы в любой момент времени.

В основу работы моделирующей программы заложен принцип модификации функции распределения технологических продуктов по крупности и по содержанию минеральных компонентов при продвижении их по технологической цепи от операции к операции [6].

Для двухкомпонентного минерального сырья функция распределения двумерна $\Gamma(d, c)$, где d – диаметры частиц [м], c – массовая концентрация полезного компонента [доли единицы]. Функция распределения задается таким образом, что

$$\iint \Gamma(d, c) \partial d \cdot \partial c = 1.$$

Функция распределения дискретизируется и задается пользователем в диалоговом режиме. Если количество дискретных классов крупности – n , а классов содержания полезного компонента – m , то должно выполняться условие $\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \gamma_{ij} = 1$, где γ_{ij} – доля полезного компонента в соответствующей фракции.

При проведении технологических операций функция распределения видоизменяется. Любая технологическая цепь предприятия по переработке минеральных полезных ископаемых содержит всего два вида основных операций: операции дробления –измельчения и операции разделения (сепарации).

Статистика фрагментации технологических продуктов при проведении операций измельчения описывается распределением Розина – Раммлера [9]:

$$R(\delta) = e^{-\left(\frac{\delta}{\delta_0}\right)^a}, \text{ где } a \text{ и } \delta_0 \text{ – эмпирические константы.}$$

Данное распределение относится к одному из классических распределений математической статистики - распределению Вейбула, которое является одним из частных случаев кривых системы Пирсона, т.е. описание гранулометрического состава уравнением Розина-Раммлера (Вейбула) опирается на фундаментальные математические положения (рис. 1).

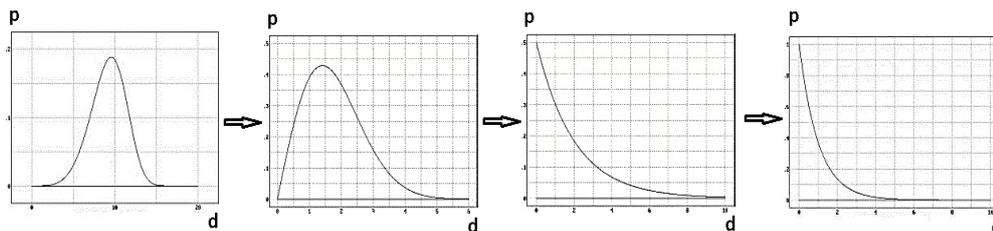


Рис. 1. Последовательная модификация вида кривой распределения Розина –Раммлера (Вейбулла) в циклах измельчения

По мере измельчения руды с определенными текстурно - структурными характеристиками и среднестатистическим содержанием полезного компонента происходит образование новых частиц со статистикой перераспределения содержания полезного компонента, описываемого классическим бета распределением:

$$P(c) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} c^{\alpha-1} (1-c)^{\beta-1}, \text{ где } \alpha \text{ и } \beta \text{ – параметры бета распределения.}$$

Ключевым свойством классического бета распределения является видоизменение кривой распределения в зависимости от его параметров (рис. 2). Переход формы классического бета распределения с увеличением дисперсии от биномиального к равномерному и далее к двугорбому позволяет использовать его при имитационном моделировании процессов раскрытия полезного компонента при измельчении руды.

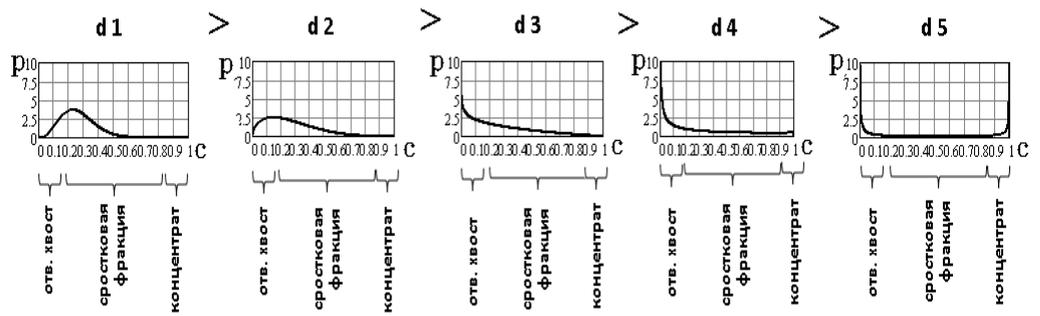


Рис. 2. Модификация формы классического бета распределения, отражающая процессы раскрытия полезного компонента при измельчении

Совместное использование распределений Розина – Раммлера и классического бета распределения позволяет полностью описать модификацию исходной функции распределения частиц по крупности и содержанию полезного компонента в них в циклах дробления – измельчения при имитационном моделировании технологической цепи обогащения. Учет структурно – текстурных особенностей и исходного распределения крупности зерен полезного компонента измельчаемой руды производится при расчете параметров бета распределения.

Процесс измельчения в мельнице моделируется изменением функции распределения частиц по крупности, приводящим к «движению» математического ожидания по кривой Розина – Раммлера в зависимости от удельных энергозатрат с одновременным расчетом раскрытия полезного компонента в частицах. Таким образом, внутри исходного массопотока в цикле измельчения появляются потоки частиц с содержанием полезного компонента, соответствующим отвальному продукту и концентрату (рис. 3)

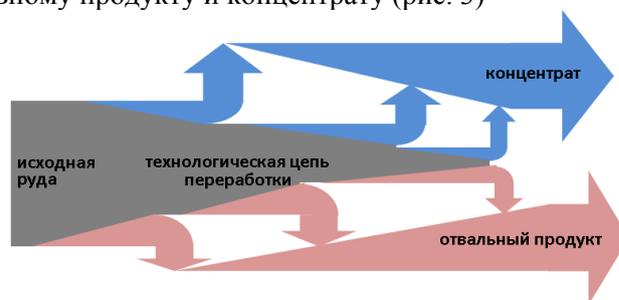


Рис. 3. Образование отвального продукта и концентрата по мере измельчения исходной руды

Алгоритм работы блока автоматизированного определения топологии технологической схемы обеспечивает перерасчет характеристик массопотоков раскрытых частиц и отвального продукта по мере измельчения руды. При достижении определенных значений характеристик массопотоков, соответствующих технологическим характеристикам используемого в схеме сепарационного оборудования, производится выделение продуктов в отдельные массопотоки отвального продукта и концентрата технологической схемы. Операции разделения являются точками разветвления технологической цепи.

Моделирование операций разделения также производится на основе вероятностно – статистического подхода [10-12]. Вероятность извлечения частицы с определенными физическими свойствами в концентрат или отвальный продукт определяет сепарационная характеристика разделительного аппарата. Операция разделения по крупности – классификация. Вариантом разделения на основе разницы физических свойств (магнитной восприимчивости) является магнитная сепарация. К примеру: для обобщенного гравитационного аппарата сепарационная характеристика – вероятность перехода частицы с определенной плотностью ρ во вторичный продукт

$$\varepsilon_{\text{кон}}(\rho) = \frac{\exp(Ax_p) - \exp(Ax_{\min})}{\exp(Ax_{\max}) - \exp(Ax_{\min})} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{th} \left[\frac{gh}{4\alpha D} (\rho - \rho_p) \right],$$

где $A = g(\rho - \rho_{\text{ср}}) / (\alpha D)$; $h = x_{\max} - x_{\min}$; $x_p = x_{\min} + h/2$.

для магнитного сепаратора сепарационная характеристика

$$\varepsilon_{\text{кон}}(\chi_m) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \Phi \left[\sqrt{\frac{ha\chi_{\text{исх}}(\chi_m)}{\alpha D}} (\chi_m - \bar{\chi}_p) \right] \right\}, \quad \text{где } a = \mu_0 H \operatorname{grad} H.$$

Таким образом, совместное использование математического аппарата статистических распределений частиц по крупности Розина – Раммлера, бета функции описания раскрытия полезного компонента при рудоподготовке и аппарата сепарационных характеристик, определяющих вероятность извлечения в частиц с определенными физическими свойствами в отдельный массопоток, позволяет создать имитационную модель технологической цепи предприятия переработки минеральных полезных ископаемых.

Работа модуля автоматизированной генерации топологии технологической цепи основана на непрерывном анализе дисперсного и качественного составов материальных потоков, модифицируемых при проведении операции измельчения исходной руды, и контроле образования раскрытых частиц с целью определения точки разветвления этой цепи. Учитывая, что операции измельчения являются самыми энерго – ресурсоемкими, автоматизированное определение точки разветвления технологической цепи и своевременный вывод продуктов позволяет максимально возможно сократить материальный поток, поступающий в следующий цикл измельчения и, тем самым, достичь оптимальных с экономической точки зрения технологических показателей переработки полезных ископаемых.

Литература

1. Morrison, R. D. JK-SimMet: A Simulator for Analysis, Optimization and Design of Comminution Circuits / R. D. Morrison and J. M. Richardson // Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control: Proceedings. -Vol.1. / Ed. by A.L. Mular, D.N. Halbe, and D.J. Barratt. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2002. -С.442-460.
2. Brochot, S. USIM PAC 3.0: New Features for a global Approach in Mineral Processing Design / S. Brochot, M.V. Durance, J.C. Guilla-nea, and J. Villeneuve // Proceedings APCOM 2002 Conference. - 2002. -С.477-494.
3. Herbst, J.A. “A microscale look at tumbling mill scale-up using high fidelity simulation” / International Journal of Mineral Processing. – 2004, vol. 74. - P.299-306.

4. King, R.A model for the quantitative estimation of mineral liberation from mineralogical texture / R.P. King // Inter. Journ. of Miner. Process. -1979, №6. -P.207.
5. Маринич, И.А. Формализация модели дробильно – измельчительного комплекса в виде структуры с распределенными параметрами функции сокращения крупности перерабатываемой руды Вісник КТУ, вип. 28, 2011.
6. Овчинникова Т.Ю. Теоретическое и экспериментальное изучение влияния распределения крупности зерен минеральных фаз на характеристики их раскрытия / Т.Ю. Овчинникова, Е.Ф. Цыпин // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы Международной научно-техн. конф., г. Екатеринбург, 22-26 мая 2006 г. –Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2006. –С.148-154.
7. Нгуен Ван Чи. Моделирование технико экономических показателей обогащительных технологий / Нгуен Ван Чи, А.В. Петров // IV Всероссийская научно-практ. конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов», 2010. - С.213-216.
8. Никонов, Е.А. Применение имитационного моделирования для выбора и предпроектного обоснования технологических схем обогащения минерального сырья, 2004. –С.75-89.
9. Rosin, P. Kornzusammensetzung des Mahlgute in Lichte der Wahrscheinlichkatslehre / P. Rosin, E. Rammler E. // Kolloid Zeitschrift. 1934. Heft 1, Band 67.
10. Белоглазов, И.Н. Методы расчета обогащительно-гидрометаллургических аппаратов и комбинированных схем / И.Н. Белоглазов, О.Н. Тихонов, В.В. Хайдов. - М.: Металлургия, 1995. - 297 с.
11. Тихонов, О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых / О.Н. Тихонов. - М.: Недра, 1984. - 208 с.
12. Андреев, С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. - М.: Недра, 1980. - 415 с.

Сведения об авторах

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., зам. директора института, зав. кафедры Информационных систем и технологий Кольского филиала Петрозаводского государственного университета,

e-mail: oleynik@iimm.net.ru

Andrey G. Oleynik - Dr. of Sci. (Tech), deputy director

Скорухов Владимир Федорович - д.т.н., заведующий лабораторией новых обогащительных процессов и аппаратов,

e-mail: skorohodov@goi.kolasc.net.ru

Vladimir F. Skorokhodov - Dr. of Sci. (Tech.), head of laboratory

Бирюков Валерий Валентинович - научный сотрудник,

e-mail: birukov@goi.kolasc.net.ru

Valeri V. Birukov – researcher

УДК 65.011.56, 62.50

И.Е. Кириллов^{1,2}, И.Н. Морозов^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ЦЕЛЬЮ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНО-ПРЕДУПРЕЖДАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрен возможный подход к созданию модели любого технологического процесса. Дается общее представление о возможной структуре модели в виде направленного графа, о способах описания узлов и «передаточных функций» соответствующих дугам. Проводится обоснование применяемого аппарата.

Ключевые слова:

моделирование, технологический процесс, нечеткая логика, управление.

I.E. Kirillov, I.N. Morozov

APPROACH TO CREATING AN ADAPTIVE MODEL OF TECHNOLOGICAL PROCESS WITH THE PURPOSE OF IMPLEMENTATION OF OPERATIVE-ALERT MANAGEMENT

Abstract

The article describes a possible approach to the creation of a model of any technological process. Provides an overview of the possible structure of a model in the form of a directed graph, on how to describe nodes and «transfer functions» of the respective arcs. Is the rationale of the applicable device.

Keywords:

modeling, technological process, fuzzy logic, management.

Введение

При управлении технологическими процессами (ТП) является актуальным вопрос, связанный с повышением производительности. Существует ряд весомых ограничений, накладываемых на значения технологических параметров, за которые они не должны выходить, поскольку это может приводить к аварийным ситуациям и к более быстрому износу оборудования.

По этим причинам, прежде чем осваивать и вводить в эксплуатацию новые алгоритмы управления отдельными узлами ТП и технологическими цепочками (ТЦ) в целом, необходимо доскональное изучение структуры и особенностей их функционирования, т.е. необходимо, применив методы системного анализа, изучить особенности функционирования узлов ТЦ в отдельности и алгоритм их взаимодействия между собой.

В современном мире существует множество различных подходов для изучения свойств и особенностей функционирования технологических объектов, в данной статье представлен один из таких способов, который можно реализовать на функционирующем технологическом оборудовании без дополнительных аппаратных средств и без внесения существенных изменений в аппаратную и программную структуру системы управления технологическим процессом.

Представление технологического процесса в виде нечетко-определенной модели

Любой объект ТЦ в общем виде можно представить как многомерную систему, так как это делается в классической теории автоматического управления. Рассмотрим модель отдельного узла ТЦ, который является составляющей данного процесса. Любой объект управления можно представить, так как это показано на рис. 1.

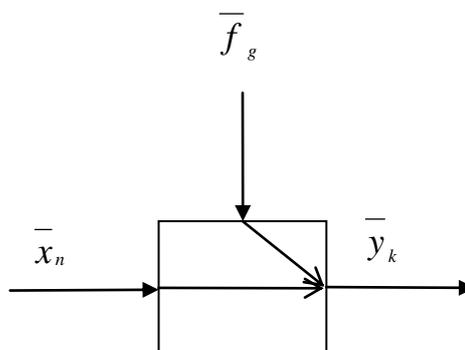


Рис. 1. Схематичное обозначение объекта управления

где \bar{x}_n - входное (управляющее) воздействие;
 \bar{y}_k - управляемые параметры;
 \bar{f}_g - внешнее (возмущающее) воздействие.

Значения входных, выходных сигналов, а так же некоторых переменных состояний отдельных узлов снимаются с функционирующих датчиков.

Внутренние связи между входными сигналами и состояниями ОУ, а так же состояниями и регулируемыми выходами могут определяться в виде классических передаточных функций $W(p)$ (ПФ), а могут быть выражены не явно, и зачастую при управлении объектом управления (ОУ) игнорируются. Например, очень часто ПФ таких наиболее широко распространенных исполнительных механизмов как асинхронных электродвигателей или двигателей постоянного тока представляются в виде связки двух ПФ реализующих механическое и электрическое звенья.

Если в случае механического звена при длительной работе двигателя изменением его параметров можно пренебречь в силу их малой величины, то изменения параметров электрического звена могут достигать существенных величин из-за нагрева обмоток двигателя и как следствие изменения их сопротивления. Таким образом, в ходе работы установки, использующей электродвигатель, изменяется её передаточная функция, и как следствие, необходимо изменять управляющее воздействие для достижения желаемого результата производительности.

При моделировании узла технологического процесса в большинстве случаев можно обойтись классическим представлением связей входных и выходных параметров в виде передаточных функций принятом в теории автоматического регулирования и управления. Применение данного подхода имеет следующие недостатки:

1. Модель будет являться не адаптивной, поскольку любой объект в ходе своего функционирования изменяет ряд своих свойств, которые в той или иной мере влияют на значение выходных параметров (как пример можно привести процесс нагрева в подвижных частях механизмов, возникающий в ходе трения, или процесс нагрева токоведущих частей электрических схем и аппаратов). Соответственно модель, построенная на обычных передаточных функциях, будет давать прогноз соответствующий начальному состоянию объекта управления.

2. Не будет учтен ряд связей между частью входных и выходных параметров, связь которых не очевидна и не может быть представлена в виде классических передаточных функций. В большинстве случаев данными связями можно пренебречь, однако их учет может улучшить качество работы модели.

Несмотря на вышеперечисленные недостатки, во многих случаях, существует возможность описать с помощью математических моделей влияние различных параметров друг на друга. При этом обобщенная модель ОУ сильно усложняется. В связи с этим возникает необходимость применения аппарата нечеткой логики для описания связей входных параметров, состояний ОУ и выходных регулируемых значений, которые невозможно представить с помощью $W(p)$.

Для того что бы реализовать «нечеткую передаточную функцию», описывающую влияние определенных входных значений и переменных состояния на выходные значения, или входных параметров и переменных состояния на другие переменные состояния, можно представить, на основе статистических данных, значения всех параметров в виде нечетких функций принадлежности (НФП).

Самым простым способом выполнить такое представление является выбор максимального и минимального значения параметра, разбиение интервала между ними на большое количество отрезков (например по 1%), и сопоставление этим отрезкам НФП, при этом можно выбрать колокообразную форму нечеткой ФП (рис.2), так как она является наиболее универсальной и при изменении её параметров можно добиться вида НФП других форм.

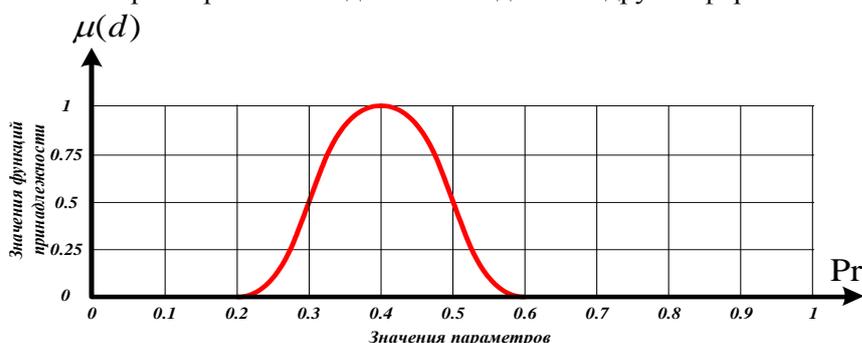


Рис.2. Колокообразная форма нечеткой ФП

Поскольку ТП не является статическим и его свойства, как правило, изменяются со временем в силу различных причин (изменение характеристик сырья и технологических ресурсов, износ или замена оборудования и т.п.), в ходе эксплуатации модели, основанной на использовании нечеткой логики,

корректировка НФП должна происходить автоматически. При этом процесс корректировки сводится к настройке параметров ранее сформированных НФП для определенных интервалов значений параметров или добавлению новых НФП при условии изменения максимального или минимального значения данных параметров.

Так же следует отметить, что использование большого количества нечетких ФП может сильно замедлить процесс вычисления. Поэтому нечеткие передаточные функции имеет смысл использовать для описания только тех связей, которые не могут быть определены классическими методами. Кроме этого, изначально заданные интервалы разбиения диапазонов варьирования параметров следует, по возможности, укрупнить для снижения размерности задачи.

В литературе известно некоторое количество вариантов алгоритмов настройки нечетких аппроксиматоров, которые выполняют функции нечетких моделей узлов ТП, однако практически во всех из них не учитывается природа самого ТП, а так же не учитываются изменения, протекающие в узлах ТП и влияющие на изменение их ПФ.

Для реализации процесса укрупнения интервалов описываемых ФП следует проводить анализ статистических данных, при котором отслеживать влияние изменения конкретного параметра на изменение выхода. Например, если при разбиении параметра x_1 влияющего на выход y_1 на 100 интервалов на изменение нескольких интервалов x_1 приходится одно изменение y_1 , то можно сделать вывод о целесообразности объединения этих нескольких интервалов x_1 .

Наличие больших объемов данных мониторинга технологического процесса позволяет установить четкое соответствие между большинством интервалов значений выходного параметра и интервалами значений входов, при которых получен данный выход.

Анализируя статистическую информацию описывающую ход ТП, можно выявить нечеткие правила, описывающие зависимость параметров друг от друга, и сформировать базу правил. По данным правилам можно проводить анализ текущей ситуации и затем, проведя операцию дефазификации, одним из классических методов определить значение выходного параметра. С помощью такого подхода можно получить «нечеткую передаточную функцию» описывающую связи между любыми входными и выходными параметрами.

После представления всех звеньев ТП в виде «нечетких передаточных функций» в совокупности с классическими ПФ, можно реализовать самонастраивающуюся или адаптивную имитационную модель ТП осуществляющую прогнозирование его развития.

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 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 дополнительные свойства адаптивности модели.

В режиме прогнозирования в модель подается вектор, определяющий текущую ситуацию, значения элементов которого фазифицируются и передаются на обработку системе правил. Результаты нечеткого вывода дефазифицируются, в результате чего определяются значения вектора выходов. Вопрос выбора количества и параметров ФП рассматривается во многих литературных источниках.

Существует несколько алгоритмов осуществления операции фазификации и заполнения базы знаний [1-3]. 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. При оценке изменения скорости и ускорения хода ТП, которая не проводится в большинстве известных способов разработки нечетких аппроксиматоров, в модели будет учтен такой важный фактор как динамика протекания процесса.

Заключение

В перспективе, после проведения настройки подобной сети, её с успехом можно использовать в качестве инструмента реализации упреждающего управления в ТП, т.е. управления в котором осуществляется прогнозирование развития ситуации, описывающей ход ТП при использовании определенных входных воздействий, и корректировка этих воздействий с целью получения желаемого результата управления.

Ограничением на применение подобных сетей может служить лишь вычислительная мощность оборудования, на котором они реализованы, и размерность системы управления.

Литература

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы /Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. - М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
2. Kosko, B. Fuzzy systems as universal approximators /B. Kosko // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No.11, November 1994. – P.1329-1333.
3. Круглов, В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В.В. Круглов, М.И. Дли. – М.: Физматлит, 2002. – 256 с.

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

УДК 004.94

А.А. Туз^{1,3}, В.Н. Богатиков^{2,3}

¹ Ковдорский ГОК

² Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)

³ Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АПАТИТО-БАДДЕЛЕИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ ПИТАНИЯ ФЛОТАЦИИ ОАО «КОВДОРСКИЙ ГОК»

Аннотация

В работе предлагается использовать управление с прогнозирующими моделями. Рассматриваются кинетические модели процесса измельчения.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, кинетика, смешение, измельчение, классификация, месторождения многокомпонентных руд, бадделеит-апатит-магнетитовые руды, оценка состояния, модели прогнозирующего управления.

A.A. Tuz ,V.N. Bogatikov

BUILDING AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF GRINDING PROCESS OF APATITE-BADDELEYITE CONCENTRATE IN SECTOR OF PREPARATION FLOTATION FEED IN THE OPEN JOINT STOCK COMPANY "KOVODORSKY GOK"

Abstract

The paper proposes to use the model predictive control (TPC). The kinetic model of the grinding process.

Keywords:

computer modeling, kinetics, mixing, grinding, classification, multi-ore deposits, baddeleyite-apatite-magnetite ore, evaluation, model predictive control.

Введение

Особенностью управления схемами измельчения в шаровой мельнице являются возмущения, которые связаны с различными вариациями и неоднородностью исходного материала. Кроме того, процесс управления осложняется наличием различного рода нелинейностей присущих системам управления для такого класса объектов. Существующие модели, нуждаются в совершенствовании для целей повышения качества управления.

В работе предлагается вариант управления, в котором контроллеру заданы мягкие ограничения на выход для обеспечения устойчивости и надежности при несоответствии параметров «технологическая установка – модель». Мягкие ограничения на выход – это границы вокруг контрольной точки, где ошибки минимально значимы в зоне нечувствительности, известной как мягкие ограничения, и максимально значимы, как только ошибка выходит за пределы области.

Модель прогнозирующего управления на основе импульсной характеристики конечной длительности (КИХ)

Системы управления с прогнозирующими моделями (УПМ) состоят из оценочного модуля и регулятора, как показано на рис. 1. Входными

параметрами УПМ являются заданные значения r , выходы процесса z , и измеренные выходы процесса y . Выходные параметры УПМ представляют собой регулируемые переменные u .

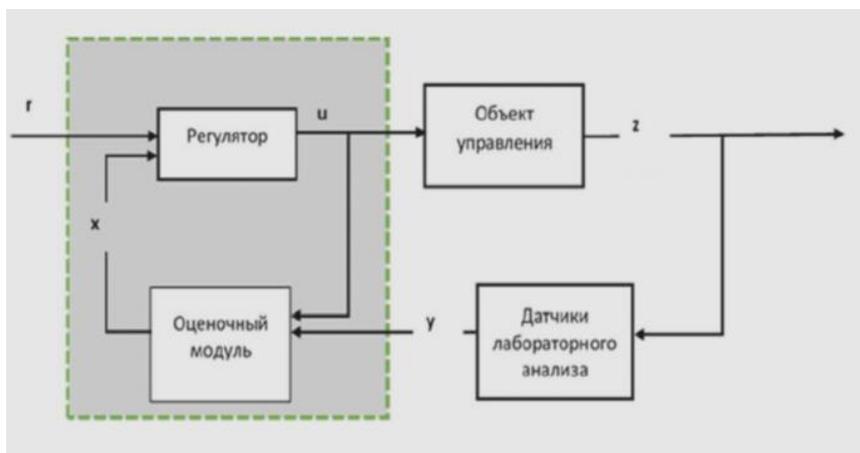


Рис. 1. Контроллер на основе УПМ

Описание технологического процесса подготовки питания флотации

Подготовка питания флотации на апатито-бадделеитовой фабрике (АБОФ) ОАО Ковдорский ГОК, происходит следующим образом. 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). Готовый по крупности материал с 25% твердостью поступает в радиальный сгуститель, из которого в слив удаляются шламы. Сгущенный продукт с 50-53% твердостью направляется на флотацию апатита в механических аппаратах. В результате основной, двух контрольных флотаций и перечисток получают апатитовый концентрат с 37-38% P_2O_5 .

Кинетические модели процесса измельчения.

Кинетические модели процесса измельчения строятся на основе уравнений баланса масс, описывающих процесс в различных интервалах. Если предположить, что мельница смешивает в радиальном направлении и частично в осевом направлении, кинетическая модель второго порядка дана в [2] в виде:

$$\frac{dw_i(l,t)}{dt} = -S_i w_i(l,t) + \sum_{j=1}^{i-1} S_j b_{ij} w_j(l,t) + D_i \frac{d^2 w_i(l,t)}{dl^2} - u_i \frac{dw_i(l,t)}{dl} \quad (1)$$

где t – время измельчения, l – пространственная координата в осевом направлении, $w_i(l,t)$ – массовая фракция материала в размере i -ого класса, b_{ij} – функция дробления, S_i – функция отбора, D_i – коэффициент перемешивания, u_i – скорость конвективного переноса частиц в осевом направлении.

Левая часть уравнения (1) представляет собой вариацию массовой фракции материала в размере i -ого класса в течение временного интервала $[t, t + \Delta t]$. Первый и второй член в правой части представляют собой массу исчезающих и проявляющихся частиц в этом классе соответственно. Третий член описывает осевую дисперсию, и последний член представляет собой конвективный перенос частиц в осевом направлении. Дифференциальное уравнение (1) имеет следующие граничные условия:

$$w_i(l, 0) = f_i(l), \text{ для } l = 1 \quad (2)$$

$$w_i(l, t) = -u_i w_i(l, t) - D_i \frac{dw_i(l, t)}{dl} \text{ для } l = 0$$

$$\frac{dw_i(l, t)}{dl} = 0 \text{ для } l = L,$$

где $f_i(l)$ – массовая доля подачи в классе размера i и L – это длина мельницы.

Уравнение (2) с указанными условиями представляет собой основную кинетическую модель процесса. В зависимости от конкретных условий работы мельницы известны различные варианты этой модели. Наиболее часто смешанная модель используется в предположении, что содержимое мельницы равномерно перемешивается, как в радиальном, так и осевом направлении. В этом случае, третьим и четвертым членом в (1) можно пренебречь, и измельчающая кинетика описана в виде

$$\frac{dw_i(l, t)}{dt} = -S_i w_i(l, t) + \sum_{j=1}^{i-1} S_j b_{ij} w_j(l, t). \quad (3)$$

Это уравнение можно записать в матричном виде как

$$\frac{dw(t)}{dt} = (B - I)S w(t),$$

где S – диагональная матрица с диагональными элементами, $S_{i,i=1,2,\dots,n}$, B – нижняя треугольная матрица с элементами $b_{ij, n \geq i > j \geq 1}$, $w(t)$ – вектор с элементами $w(t)_{i=1,2,\dots,n}$, обозначает единичную матрицу.

Матрица $(B - I)S$ имеет нижнюю треугольную форму с диагональными элементами $-S_1 - S_2, \dots, -S_n$. При предположении, что функции b_{ij} и S_i известны и не зависят от времени, решение дается в виде

$$w(t) = \exp[(B - I)St] w(0),$$

где $\exp[(B - I)St]$ матрица показателя и $w(0)$ – вектор начальных условий с элементами равными массовым долям загрузки соответствующего класса крупности. Формулы для $w_i(t)_{i=1,2,\dots,n}$, известны, как решение уравнения Рейда периодического измельчения.

Совокупная форма уравнения также используется при моделировании процесса измельчения, т.е.

$$\frac{dR_i(t)}{dt} = -S_i R_i(t) + \sum_{j=1}^{i-1} R_j(t) [S_{j+1} B_{ij+1} - S_j B_{ij}], \quad (4)$$

где $B_{ij} = \sum_{k=i+1}^n b_{kj}$ - кумулятивная функция дробления $R_i(t) = \sum_{j=1}^i w_j(t)$ совокупная массовая доля частиц с размером более x_i , нижний предел класса крупности i .

Нахождение решений уравнений предполагает предварительное знание функций дробления и отбора b_{ij} и S_i . Тем не менее, для конкретного процесса эти функции не известны априори, и они, как правило, определяются экспериментальными испытаниями и последующей обработкой и оценкой результатов эксперимента. Различные методы определения этих функций и некоторых типичных графиков участков функций дробления приведены в [1]. Приближенные решения кумулятивного уравнения измельчения в явном виде также показаны в [3].

Существенной особенностью большого класса современных технологических процессов является наличие неопределенности параметров их функционирования как статистической, так и не статистической 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.

Управление с прогнозирующими моделями

Сегодня в промышленности существует множество стратегий управления, например, интеллектуальное управление и адаптивное управление. Управление с прогнозирующими моделями является широко используемым методом в промышленности, так как позволяет обрабатывать:

- ограничения;
- нелинейности процесса;
- неопределенность модели;
- уникальные рабочие характеристики.

На основе прогноза контроллер рассчитывает управляющие воздействия по регулируемым параметрам, решая задачи оптимизации в масштабе реального времени. В этом случае контроллер пытается минимизировать ошибку между предсказанным и фактическим значением по горизонту управления, т. о. реализуется управляющее воздействие. В основе работы контроллеров лежат динамические модели процесса, чаще всего линейные эмпирические модели, полученные путем идентификации системы.

Из рис. 2 видно, что поведение системы с упреждающим управлением может быть весьма сложным, поскольку управляющее воздействия определяется как результат решения задачи оптимизации в масштабе реального времени.

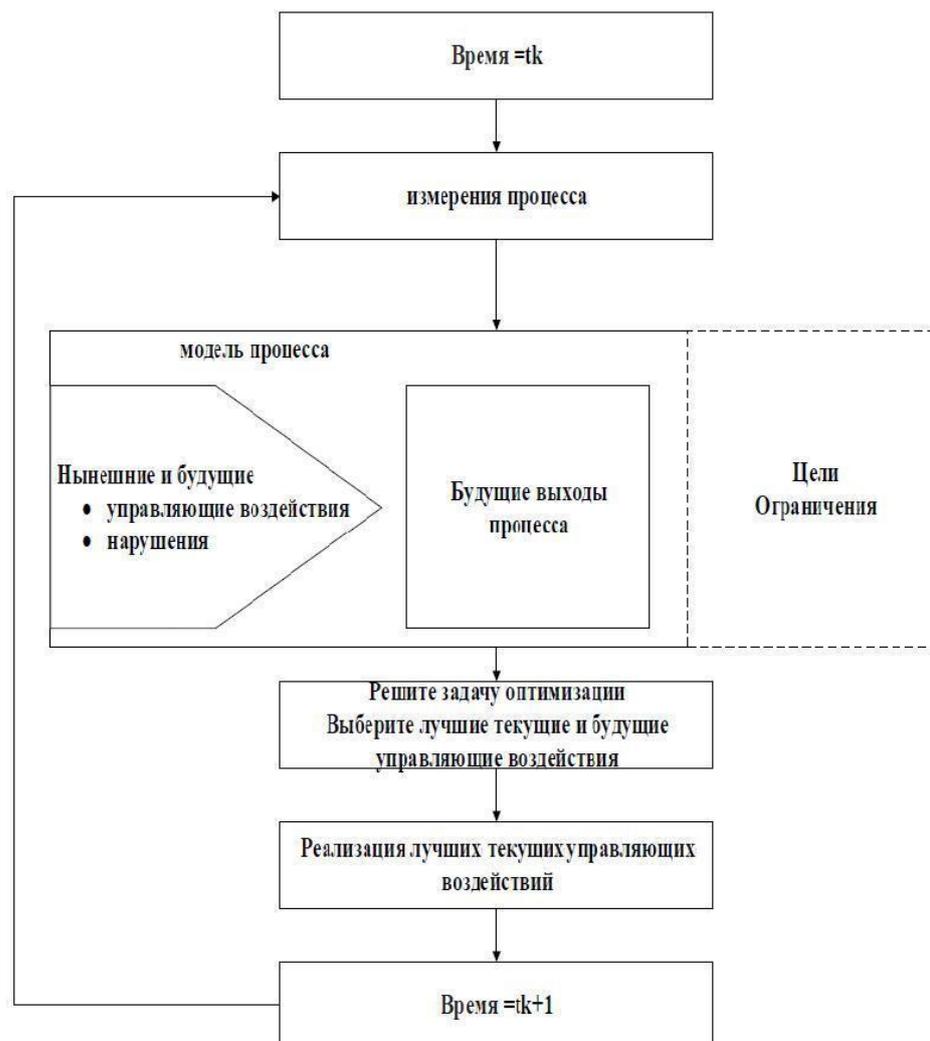


Рис. 2. Схема управления с прогнозирующими моделями

Как правило, различные виды данных систем предлагают различные подходы в решении следующих задач:

- модели «ввода – вывода»;
- прогнозирования неисправностей;
- целевой функции;
- измерения;
- ограничений;
- периода дискретизации.

Модель прогнозирования

Данная модель является наиболее важной частью системы управления. Полный проект должен включать необходимые механизмы для получения оптимальной модели, чтобы охватить все динамические характеристики

процесса и позволить рассчитать прогнозы, и одновременно интуитивно понятной, чтобы позволить провести теоретический анализ. Использование модели процесса определяется необходимостью расчета прогнозируемого выхода в будущие моменты времени.

Разные стратегии прогнозирующего управления могут использовать различные модели для представления отношений между выходами и измеримыми входами, некоторые из которых являются регулируемыми переменными, а другие – измеримыми помехами (неисправностями).

К широко используемым моделям относятся:

- модель импульсной характеристики конечной длительности (КИХ);
- модель переходной характеристики;
- модель пространства состояний.

Из всех моделей с упреждающим управлением, одними из наиболее распространенных в системах управления технологиями на промышленных предприятиях, являются модели КИХ. Преимущество таких моделей в том, что они показывают постоянную времени процесса, опережения и запаздывания непосредственно на графах процесса. Кроме того, моделям КИХ по сравнению с моделями на основе передаточной функции требуется меньше предварительной информации. Также моделям КИХ нужна информация только о времени успокоения, которую можно легко получить. Таковы основные преимущества использования модели КИХ в технологических процессах с множеством переменных входа-выхода и сложными динамическими реакциями, обусловленными взаимодействиями.

Минусы модели КИХ заключаются в том, что их можно использовать только для стабильных систем и трудно использовать в идентификации процессов с медленной динамикой.

Целевая функция

Существуют различные функции стоимости для применения закона управления для различных алгоритмов УПМ, используемых сегодня. Их цель заключается в том, что в будущем выход на горизонт прогнозирования должен следовать определенному опорному сигналу и выполняться при особом ограничивающем условии. Целевые функции являются задачами либо минимизации, либо максимизации в зависимости от приложения. Как правило, функции стоимости, используемые в системах управления технологическими процессами, являются функциями минимизации с некоторыми ограничениями в виде неравенств.

Закон управления

Для получения значений необходимо свести к минимуму функциональную часть целевой функции, в результате получают выражение, упрощение которого приводит к получению искомых значений. Аналитическое решение можно получить для квадратичного критерия, если модель является линейной и нет никаких ограничений, в противном случае используется итерационный метод оптимизации.

Построение матрицы схемы

Добавление нового элемента в замкнутый цикл измельчения, который поглощает частицы продукта, выходящие из классификатора, поможет разделить все частицы по их гранулометрическому составу в схеме, в том числе частицы конечного продукта. Также будет несколько изменено подстрочное индексирование материальных потоков между мельницей и классификатором в целях облегчения конструкции модели. Закрытая схема помола с новыми условными обозначениями для построения матричной модели показана на рис. 3.

Как видно из рисунка, элементы схемы нумеруются следующим образом: мельница – 1, сепаратор – 2, коллектор продукта – 3. Материальные потоки, представленные векторами состояния F , имеют подстрочную индексацию элемента схемы, в который они направляются. Таким образом, вектор состояния гранулометрического состава материала на входе в мельницу обозначен как F_1 , сепаратор – F_2 , и коллектор продукта – F_3 . Вектор состояния, представляющий подачу свежего сырья остается F_0 .

Матрица схемы M построена с использованием набора правил, полученных для схем, состоящих из произвольного количества элементов и конфигураций:

- каждый столбец матрицы M соответствует элементу схемы. Матрица материальных потоков на выходе из элемента помещается в столбце.

- матрица материальных потоков находится в строке с номером элемента, куда направлен выход из мельницы.

- матрица материальных потоков на выходе классификатора C размещается в строке с номером элемента, куда направляется тонко-измельченный продукт классификации, а матрица $\square (I-C)$ находится в ряду с номером элемента, куда направляется грубоизмельченный продукт классификации.

Аналогично для других матриц, матрица M описывает переходы частиц от исходного элемента схемы (номер столбца) в элемент получателя (номер строки).

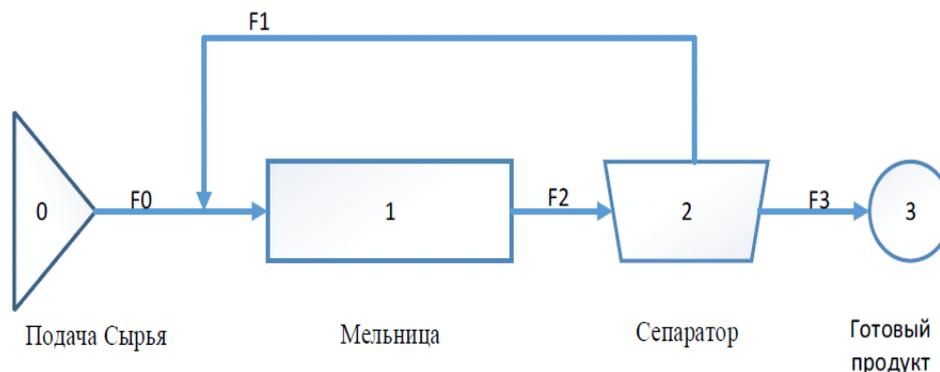


Рис. 3. Матричная модель замкнутой схемы измельчения

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 0 & I-C & 0 \\ G & 0 & 0 \\ 0 & C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 + F_0 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} (I-C)F_2 \\ G(F_1 + F_0) \\ C \cdot F_2 \end{bmatrix}_k, \quad (5)$$

где F_0 -подача свежего сырья.

$F_1 = (I-C)F_2$ -подача свежего сырья,

$F_2 = G(F_1 + F_0)$ - подача материала на классификатор,

$F_3 = C \cdot F_2$ - конечный продукт.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & I-C & 0 \\ G & 0 & 0 \\ 0 & C & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Матрица M является блочной матрицей с числом блоков, соответствующих количеству элементов в схеме измельчения (3×3). Полный размер развернутой матрицы M определяется количеством элементов схемы, умноженной на номер рассматриваемой фракции гранулометрического состава, т.е. $(3n \times 3n)$ для схемы, изображенной на рис. 3. Последний столбец матрицы M содержит только нулевые блочные матрицы, т.к. абсорбированные частицы конечного продукта безвозвратно покидают схему.

Модель системы управления

Предполагаем, что установка – это линейная система пространства состояний:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_d d_k + Gw_k x_{k+1} + z_k + Cx_k,$$

где x – состояния процесса,

u – регулируемая переменная,

d – неизмеримые возмущения,

w – шум стохастического процесса,

z – управляемые переменные.

Измеренные выходы y являются регулируемыми выходами z с помехами при измерении v . Следовательно:

$$y_k = z_k + v_k.$$

Первоначальное состояние, шум процесса и помехи при измерении предположительно являются нормально распределенными стохастическими векторами:

$$\begin{aligned} x_0 &\sim N(\bar{x}_0, P_0) \\ w_k &\sim N_{iid}(0, Q). \\ v_k &\sim N_{iid}(0, R) \end{aligned} \quad (7)$$

Измеренный выход y – это сигнал обратной связи, используемый оценочным модулем, u – сигнал системы управления, выполняемый на установке.

Модель управления с мягкими ограничениями

Мягкие ограничения могут использоваться для настройки и повышения производительности линейной модели прогнозирующего управления. В частности, рассматривается влияние недостоверных моделей на производительность регуляризованного прогнозирующего контроллера ℓ_2 модели с входными ограничениями, ограничениями скорости входа и мягкими ограничениями на выход.

В работе используется простой оценочный модуль. Причиной использования такого модуля является то, что оценочный модуль движущегося горизонта сложен для вычисления, и необходимо одновременно корректировать критерии для задачи регулирования и оценки. Здесь целевая функция упреждающего управления похожа на функцию упреждающего управления на основе КИХ, но она включает линейные и квадратичные веса на мягкие ограничения на выход относительно ссылочного параметра вместе с целевыми функциями нормального отклонения и исполнительного механизма, как указано ниже

$$\min_{\{z, u, \eta\}} \phi = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 + \|\Delta u_k\|_S^2 + \sum_{k=1}^N \frac{1}{2} \|\eta_k\|_{S_\eta}^2 + s'_\eta \eta_k$$

при ограничениях

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-i}, \quad k = 1, \dots, N,$$

$$u_{\min} \leq u_k \leq u_{\max}, \quad k = 0, \dots, N-1,$$

$$\Delta u_{\min} \leq \Delta u_k \leq \Delta u_{\max}, \quad k = 0, \dots, N-1,$$

$$z_k \leq z_{\max} + \eta_k, \quad k = 1, \dots, N,$$

$$z_k \geq z_{\min} - \eta_k, \quad k = 1, \dots, N,$$

$$\eta_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, N,$$

в которых $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$ и η_k – нежесткость мягких ограничений по ссылочной переменной S_η и S'_η – веса на фиктивные переменные.

Алгоритм метода внутренних точек

Метод внутренних точек используются для решения линейных и нелинейных задач оптимизации. Эти алгоритмы были разработаны для квадратичного программирования [6].

Регулятор

Устойчивые процессы представлены режимом КИХ

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-i},$$

где $\{H_i\}_{i=1}^n$ - коэффициенты импульсной характеристики, составляющие смещения оценочного модуля; b_k -разница между прогнозируемым и фактическим выходами. Следовательно, с помощью модели КИХ ℓ_2 регуляризованную задачу отслеживания выхода с входными ограничениями можно сформулировать следующим образом:

$$\min_{\{z,u\}} \phi = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 + \|\Delta u_k\|_S^2 \quad (8)$$

при котором

$$\begin{aligned} z_k &= b_k + \sum_{i=1}^n H_i u_{k-i}, \quad k = 1, \dots, N, \\ u_{\min} &\leq u_k \leq u_{\max}, \quad k = 0, \dots, N-1, \\ \Delta u_{\min} &\leq \Delta u_k \leq \Delta u_{\max}, \quad k = 0, \dots, N-1, \\ z_k &\leq z_{\max} + \eta_k, \quad k = 1, \dots, N, \\ z_k &\geq z_{\min} - \eta_k, \quad k = 1, \dots, N, \\ \eta_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, N, \end{aligned}$$

при этом $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$ и Q_z, S и R это веса регуляризации, а $\|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2$ является общим представлением норм метода наименьших квадратов по весу. Это понимается как

$$\|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 = \|z_{k+1} - r_{k+1}\|^T Q_z \|z_{k+1} - r_{k+1}\|.$$

В такой формулировке горизонты контроля и прогнозирования идеентичны. Можно сделать горизонт прогнозирования длиннее горизонта управления, чтобы никакие граничные эффекты в конце горизонта не имели никакого влияния на решение в начале горизонта и могли бы быть преобразованы в ограниченную линейно-квадратичную задачу оптимального управления.

Различные методы оптимизации применяемые для решения таких задач используют алгоритм на основе метода внутренних точек.

Программа для регулятора КИХ

Определим векторы Z, R, U , как:

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

тогда прогнозы по модели импульсной характеристики можно выразить как $Z = c + \Gamma U$ для случая $N = 6$ и $n = 3$ Γ собирается как:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

и C собирается как:

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 + (H_2 u_{-1} + H_3 u_{-2}) \\ b_2 + (H_3 u_{-2}) \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix},$$

аналогично для случая $N = 6$, определим матрицы Λ и I_0

$$\Lambda = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -I & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -I & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -I & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -I & I \end{bmatrix}, I_0 = \begin{bmatrix} I \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

и

$$Q_z = \begin{bmatrix} Q_z & & & \\ & Q_z & & \\ & & \ddots & \\ & & & Q_z \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} S & & & \\ & S & & \\ & & \ddots & \\ & & & S \end{bmatrix}, \quad (11)$$

целевую функцию в уравнении можно выразить как:

$$\begin{aligned}
 \phi &= \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \|z_{k+1} - r_{k+1}\|_{Q_z}^2 + \|\Delta u_k\|_S^2 \\
 &= \frac{1}{2} \|Z - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|\Lambda U - I_0 u_{-1}\|_S^2 \\
 &= \frac{1}{2} \|c + \Gamma U - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|\Lambda U - I_0 u_{-1}\|_S^2 \\
 &= \frac{1}{2} U' (\Gamma' Q_z \Gamma + \Lambda' S \Lambda) U \\
 &\quad + (\Gamma' Q_z (c - R) - \Lambda' S I_0 u_{-1})' U \\
 &\quad + \left(\frac{1}{2} \|c - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|I_0 u_{-1}\|_S^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} U' H U + g' U + p
 \end{aligned} \tag{12}$$

в которой

$$\begin{aligned}
 H &= \Gamma' Q_z \Gamma + \Lambda' S \Lambda, \\
 g &= \Gamma' Q_z (c - R) - \Lambda' S I_0 u_{-1}, \\
 p &= \frac{1}{2} \|c - R\|_{Q_z}^2 + \frac{1}{2} \|I_0 u_{-1}\|_S^2,
 \end{aligned} \tag{13}$$

следовательно, задачу регулятора на основе КИХ можно решить путем нахождения решения следующей задачи квадратичного программирования

$$\min_U \psi = \frac{1}{2} U' H U + g' U, \tag{14}$$

так что

$$\begin{aligned}
 U_{\min} &\leq U \leq U_{\max} \\
 b_1 &\leq \Lambda U \leq b_u
 \end{aligned}$$

где

$$U_{\min} = \begin{bmatrix} U_{\min} \\ U_{\min} \\ \vdots \\ U_{\min} \end{bmatrix}, \quad U_{\max} = \begin{bmatrix} U_{\max} \\ U_{\max} \\ \vdots \\ U_{\max} \end{bmatrix}.$$

$$b_i = \begin{bmatrix} \Delta u_{\min} + u_{-1} \\ \Delta u_{\min} \\ \vdots \\ \Delta u_{\min} \end{bmatrix}, \quad b_u = \begin{bmatrix} \Delta u_{\max} + u_{-1} \\ \Delta u_{\max} \\ \vdots \\ \Delta u_{\max} \end{bmatrix}$$

в модели прогнозирующего контроллера только первый вектор u_0^* , из

$$U^* = \left[(u_0^*)' (u_1^*)' \dots (u_{N-1}^*)' \right]' \quad (15)$$

реализован в процессе. Во время следующей выборки в связи с новым измерением повторяется оптимизация без обратной связи с новой информацией.

Заключение

В работе были рассмотрены исследование и разработка основных теоретических и прикладных подходов к построению системы управления технологическим процессом измельчения с помощью метода управления с прогнозирующими моделями для улучшения качества технологического процесса подготовки питания флотации. Рассмотрены кинетические модели процесса измельчения.

Литература

1. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. -М.: Химия, 1985.- 448 с.
2. Садовский, М.А. О распределении размеров твердых отделений / М.А. Садовский // ДАН СССР. - 1983. - №1. - С.69-72.
3. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учебник для строительных вузов /В.А. Бауман. -М.: «Машиностроение», 1975. - 351 с.
4. Линч, А.Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление / Пер. с англ. //А.Дж. Линч. –Москва: Недра, 1981.- 343 с.
5. Vemporad, A. and M. Morari, Robust model predictive control: A survey. In A. Garulli, A. Tesi, and A. Vicino (eds.), Robustness in Identification and Control, volume 245 of Lecture Notes in Control and Information Sciences. Springer-Verlag, 1999. -P.207-226. -Springer, London.
6. Дикин, И.И. Итеративное решение задач математического программирования (алгоритмы метода внутренних точек) /И.И. Дикин, В.И. Зоркальцев. – Новосибирск: Наука, 1980. – 144 с.

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 информационных систем (ИС) ТвГТУ, зав. кафедры электропривода и автоматики КФ ПетрГУ,

e-mail: VNBGTK@mail.ru

Valery N. Bogatikov - Dr. of Sci (Tech), professor

УДК 622.7:519.711.2

М.С. Хохуля, А.В. Фомин

Горный институт Кольского НЦ РАН

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СЕПАРАТОРЕ С НАКЛОННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Аннотация

Рассматривается гравитационное разделение тонких частиц в сепараторе с восходящим потоком и системой параллельных наклонных пластин. Для исследования влияния этих пластин на характер расширения твердой суспензии в псевдооживленном слое использовались методы вычислительной гидродинамики.

Ключевые слова:

сегрегация, вычислительная гидродинамика, численное моделирование, гравитационный процесс, гидравлический сепаратор.

M.S. Khokhulya, A.V. Fomin

CFD MODELLING OF MINERAL PARTICLES SEPARATION IN HYDRAULIC SEPARATOR WITH INCLINED PLATES

Abstract

This paper is concerned with the gravity separation of fine particles in a reflux separator with a fluidized bed and the system of parallel inclined channels. Computational fluid dynamics (CFD) approach was employed to investigate the influence of the inclined plates effect on the expansion behavior of solids suspension in liquid fluidized bed.

Keywords:

segregation, computational fluid dynamics, numerical modeling, gravitational process, hydraulic separator.

При переработке железных руд возникает проблема выделения полезных компонентов гравитационными методами из тонкозернистого материала. В частности, выпуск гематитового концентрата из промпродукта основной магнитной сепарации на ОАО «Олкон» производится с использованием отсадочных машин, не обеспечивающих высокую степень извлечения мелких зерен рудных минералов. В этих аппаратах сегрегация протекает в гидродинамическом режиме, в силу чего тонкие частицы взмучиваются и выносятся в верхние слои псевдооживленной суспензии с безвозвратными потерями гематита с хвостами отсадки.

Данное обстоятельство вызывает необходимость совершенствования гравитационной технологии получения гематитового концентрата, основанной на использовании аппаратов с сегрегационным принципом разделения. К их числу можно отнести и различные конструкции гидравлических сепараторов, получившие широкое распространение в практике обогащения.

Конструктивные решения, заложенные в гидравлический сепаратор (рис. 1), предусматривают использование восходящих потоков воды по наклонной поверхности и наличие в рабочей камере установленного пакета параллельных пластин, на рабочей поверхности которых происходит сегрегационное разделение материала, как на гидравлические классы, так и по плотности частиц, что отличает его от известных промышленных сепараторов.

Для разработки CFD-модели гидравлического сепаратора с наклонными пластинами использовался программный комплекс ANSYS Fluent, который имеет широкий спектр возможностей моделирования течений жидкостей, учитывающих турбулентность и многофазность, что важно при моделировании процессов обогащения полезных ископаемых.

В основе CFD-модели сепаратора лежат базовые уравнения гидродинамики, а именно уравнение неразрывности (1), оно выражает собой закон сохранения массы в элементарном объёме, и уравнение сохранения импульса (2). Эти уравнения представляют собой базовую модель течения среды [1].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = - \nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}, \quad (2)$$

где ρ – плотность, v – скорость, S_m – масса, добавленная в непрерывную фазу из вторичной диспергированной фазы, τ – тензор напряжений, p – статическое давление, F – внешняя массовая сила.

Для моделирования обогатительного процесса в сепараторе с наклонными вставками эту модель следует дополнить уравнениями, учитывающими турбулентность и многофазность.

В качестве модели турбулентности использовалась k-ε модель. В данном случае уравнения движения среды преобразуется к виду, в котором добавлено влияние флуктуации средней скорости (в виде турбулентной кинетической энергии k) и процесса уменьшения этой флуктуации за счёт вязкости (диссипации ε). В данной модели решается 2 дополнительных уравнений для транспорта кинетической энергии турбулентности и транспорта диссипации турбулентности [2].

Моделирование многофазных гранулированных потоков в ANSYS Fluent производилось при помощи двух моделей: Эйлеровой и модели дискретных элементов (Лагранжевой). Эйлерова модель позволяет моделировать поведение суспензии в рабочем объеме аппарата. Для многофазных систем типа жидкость-твердое для каждой фазы отдельно рассчитываются уравнения сохранения массы (3) и импульса (4), в эти уравнения дополнительно вводится сила сопротивления между фазами F_s , подъемная сила для вторичных фаз F_{lift} . Твердая фаза рассматривается как континуум.

$$\frac{1}{\rho_{r,q}} \left(\frac{\partial}{\partial t} (a_{q\rho,q}) + \nabla \cdot (a_{q\rho,q} \vec{v}_q) \right) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}). \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) = -\alpha_s \nabla p - \nabla p_s + \nabla \cdot \vec{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \vec{g} + \sum_{l=1}^N (K_{ls} (\vec{v}_l - \vec{v}_s) + \dot{m}_{ls} \vec{v}_{ls} - \dot{m}_{sl} \vec{v}_{sl}) + (\vec{F}_s + \vec{F}_{lift,s}), \quad (4)$$

где m_{pq} - характеризует перенос массы между фазами p и q , N - количество фаз, α - коэффициент, задающий фазовые объемные фракции, K_{ls} - коэффициент обмена импульса между жидкой фазой l и твердой фазой s .

В модели дискретных элементов используется другой подход, суспензия рассматривается как группа частиц. Для каждой частицы рассчитывается траектория движения на основе уравнения баланса сил, действующих на частицу [3].

$$\frac{du_p}{dt} = F_D (\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{\vec{g} (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F}, \quad (5)$$

где u_p - скорость частицы, u - скорость жидкости, F - дополнительные внешние силы, ρ - плотность жидкости, ρ_p - плотность частицы.

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24}, \quad (6)$$

где μ - молекулярная вязкость жидкости, d_p - диаметр частицы, C_D - коэффициент сопротивления.

Для описания столкновения и трения частиц между собой и со стенками аппарата использовалась модель столкновения дискретных элементов (DEM collision model).

Модель Эйлера позволяет оценить концентрацию частиц в рабочем объеме аппарата, скорости движения фаз и другие параметры. Однако она не позволяет точно определить выход частиц в легкую и тяжелую фракции. Это возможно осуществить при помощи модели дискретных элементов. На каждом шаге вычислений координаты положения всех частиц в пространстве заносятся в память, что позволяет подсчитать количество частиц, вышедших в легкую и тяжелую фракции, тем самым оценив эффективность работы сепаратора. В качестве недостатка модели дискретных элементов можно выделить большую вычислительную сложность при относительно большом количестве отслеживаемых частиц.

Перечисленные выше уравнения являются системой нелинейных дифференциальных уравнений, имеющих аналитическое решение лишь в очень простых случаях, когда число Рейнольдса для задачи мало, а геометрия простая (например, течение Пуазейля). Для широкого спектра природных и технологических процессов задачу можно решить численно в том случае, если производные, стоящие в уравнениях, заменить на конечные разности, созданные на малых пространственных и временных интервалах. В случае моделирования реального процесса производится так называемая дискретизация пространства и времени, таким образом, что геометрия процесса разбивается на расчетные ячейки, выбранные особым образом, а время процесса - на расчетные временные интервалы.

Существуют различные численные методы решения системы уравнений, в частности в ANSYS Fluent используется метод конечных элементов. Для работы метода необходимо расчетную область разбить на ячейки, т.е. сгенерировать расчетную сетку. На рис. 1 представлена геометрическая модель сепаратора и сгенерированная сетка.

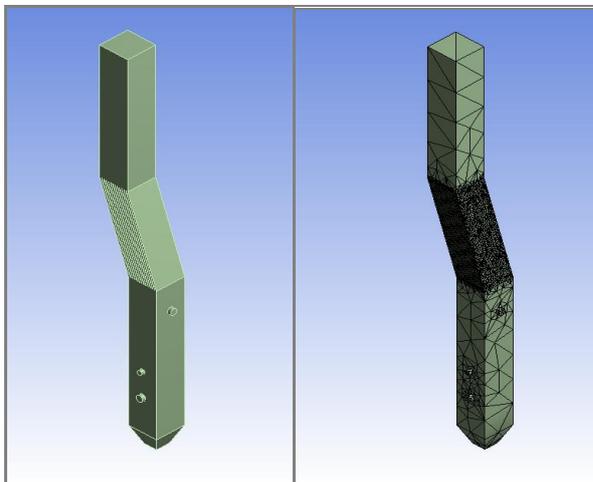


Рис. 1. Геометрическая модель и расчетная сетка аппарата

Расчетная сетка имеет неоднородный характер, размер ячеек сетки меньше в области с наклонными пластинами, где необходима большая точность вычислений.

Следующий этап построения модели в ANSYS Fluent – это задание параметров и условий модели. Он состоит в выборе типа модели, используемых материалов, задании многофазности, граничных и объемных условий.

После задания параметров модели производится расчёт и анализ результатов вычислительного эксперимента.

С созданной моделью сепаратора был проведен ряд вычислительных экспериментов, в ходе которых варьировался состав питания, скорость восходящего потока, геометрия аппарата.

Было произведено численное моделирование процесса гидравлической сепарации для материала, состоящего из смеси частиц минералов группы амфиболов, кварца и гематита. Использовались 9 классов модельного материала: три фракции гематита со средним диаметром соответственно 0,258 мм, 0,136 мм, 0,036 мм и шесть фракций минералов из группы амфиболов и кварца с такими же размерами. Исходное питание подавалось в верхнюю центральную часть модели аппарата.

Результаты численного решения системы уравнений гидродинамики на различных этапах моделирования оценивались графическим способом.

На вертикальном участке аппарата твердые частицы равномерно псевдооживаются с образованием плотного кипящего слоя с высокими скоростями фильтрации жидкости. По мере того, как суспензия входит в рабочую зону наклонных каналов между пластинами, частицы с определенными физическими свойствами оседают на верхних внешних поверхностях пластин

внутри канала с образованием слоя осадка. Этот осадок соскальзывает по наклонной поверхности и переходит в нижнюю зону с пониженными скоростями фильтрации жидкости. Часть частиц осажается в зону разгрузки аппарата, а зерна, оставшиеся в суспензии, переносятся по каналам между наклонными пластинами в верхнюю часть аппарата, откуда транспортируются в приемник легкой фракции. Возвращенный осадок смешивается с суспензией в зоне псевдооживления и возвращается в наклонный канал. Этот эффект рециркуляции является следствием взаимодействия частиц, находящихся между наклонными каналами, и суспензией.

Наиболее важными характеристиками процесса гидравлической классификации является распределение объемной концентрации или коэффициента разрыхления материала по высоте и сечению аппарата, а также изменение скоростей стесненного падения частиц различной крупности в определенных областях аппарата в зависимости от вышеупомянутых параметров.

На рис. 2 приведены графические результаты вычислительного эксперимента над созданной моделью гидравлического сепаратора, в котором осуществляется процесс разделения смеси сферических частиц гематита и минералов из группы амфиболов и кварца через 230 секунд после начала процесса. Была произведена оценка распределения объемной концентрации твердого по высоте моделируемого объекта.

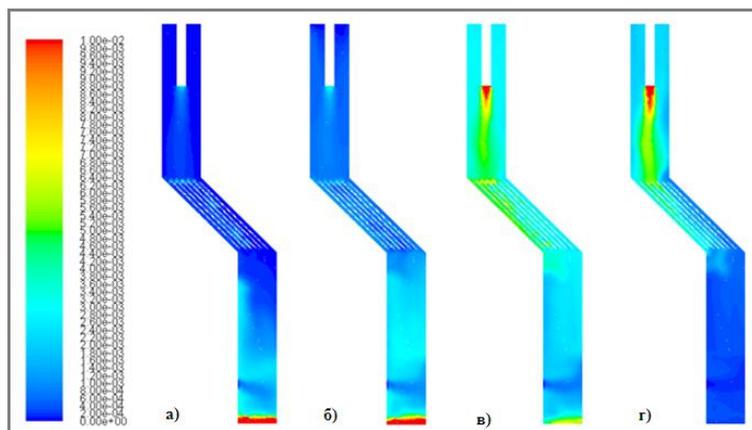


Рис. 2. Графические результаты распределения объемных концентраций дисперсных фракций по высоте и сечению модели аппарата:
 а) гематит - $d=0,258$ мм; б) гематит - $d=0.136$ мм;
 в) кварц - $d=0,258$ мм; г) кварц - $d=0.136$ мм

Также было произведено моделирование процесса разделения материала, состоящего из искусственной смеси частиц гематита и кварца. В данном случае питание подавалось в нижнюю часть аппарата. Использовались 4 класса крупности, со средним диаметром частиц 0,1; 0,16; 0,2; 0,315. В данном случае помимо Эйлеровой модели многофазных течений использовалась модель дискретных элементов, которая позволила оценить выход частиц. На рис. 3 изображены координаты положения отслеживаемых частиц в пространстве на момент времени 25 секунд с начала эксперимента, красными точками обозначены частицы гематита, синими кварц.

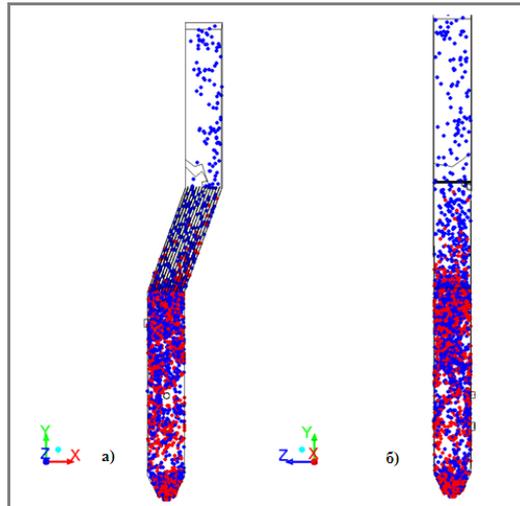


Рис. 3. Координаты положения частиц в пространстве, красным цветом обозначены частицы гематита, синим кварц; а) вид спереди; б) вид сбоку

Созданная модель позволяет оценить также распределение частиц по классам крупности в аппарате. На рис. 4 представлено распределение частиц кварца в объеме аппарата на момент времени 65 секунд с начала эксперимента. Цветом обозначен диаметр частиц.

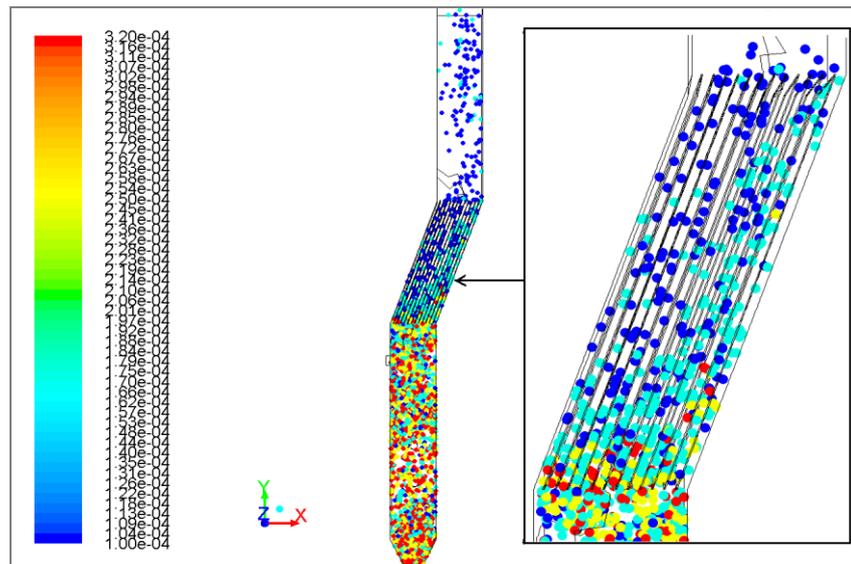


Рис. 4. Распределение отслеживаемых частиц кварца в аппарате, цветом обозначен диаметр частиц

Для оценки адекватности модели, результаты, полученные в ходе вычислительного эксперимента (табл. 1) были сравнены с результатами, полученными в ходе физического эксперимента (табл. 2).

Таблица 1

Результаты моделирования

Фракция	Крупность	Выход		Содержание, %	
		частицы	%	гематит	кварц
легкая	+0,315	0	0	0	0
	+0,2	2	0,1	0	100
	+0,16	311	21,7	0	100
	+0,1	1123	78,2	1,51	98,49
тяжелая	+0,315	2800	28,7	50	50
	+0,2	2798	28,7	50,08	49,92
	+0,16	2489	25,4	61,11	38,89
	+0,1	1677	17,2	82,47	17,53

Таблица 2

Результаты физического эксперимента

Фракция	Крупность	Выход		Содержание, %	
		граммы	%	гематит	кварц
легкая	+0,315	0,1	4,9	4,80	95,20
	+0,2	8,2			
	+0,16	46,1	27,0	3,08	96,92
	+0,1	116,2	68,1	7,66	92,34
тяжелая	+0,315	14,7	12,7	78,45	21,55
	+0,2	42,1	36,0	55,53	44,47
	+0,16	29,6	25,3	69,03	30,97
	+0,1	30,4	26,0	82,61	17,39

Из таблиц видно, что результаты, полученные в ходе моделирования, в целом согласуются с результатами физического эксперимента, что позволяет судить об адекватности модели реальному процессу.

Литература

1. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. - М.: Наука, 1987. -Ч.І. – 464с.
2. В.Е. Launder and D.B. Spalding. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London, England, 1972. –P.169.
3. P.A. Cundall, and O.D. Strack. A discrete numerical model for granular assemblies // J. Geotechnique, 1979, Vol.29, No.1. -P.47-65.

Сведения об авторах

Хохуля Михаил Степанович – к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории новых обогащительных процессов и аппаратов,
e-mail: mike@goi.kolasc.net.ru

Mikhail S. Khokhulya – Ph. D., leading researcher

Фомин Александр Владимирович – аспирант лаборатории новых обогащительных процессов и аппаратов,
e-mail: fomin5-49@mail.ru

Alexander V. Fomin - postgraduate

УДК 622.7:519.711.2

В.Ф. Скороходов, Р.М. Никитин

Горный институт Кольского НЦ РАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Аннотация

Показаны возможность и целесообразность использования компьютерного моделирования процесса флотации для прогнозирования значений технологических параметров (выход, содержание, извлечение) и макетирования новых образцов флотационной техники.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент, флотация, энергетика кристаллов, CFD-метод.

V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin

USE COMPUTATIONAL EXPERIMENTS TO STUDY THE FLOTATION SEPARATION OF MINERALS

Abstract

The work shows the possibility and feasibility of using computer simulation of flotation process for predicting the values of technological parameters (output, content extraction) and prototyping new designs flotation technique.

Keywords:

computer modeling, computational experiment, flotation, energy crystals, CFD method.

Развитие большинства отраслей промышленности невозможно без дальнейшего освоения природных сырьевых запасов. Однако однополярная цель получения минеральных концентратов ставит под удар экологию регионов, имеющих развитую горнопромышленную инфраструктуру. В то же время, можно утверждать, что концепция комплексной переработки руд Хибинского массива, обозначенная А.Е. Ферсманом в двадцатых годах прошлого столетия [1], реализована не в полной мере. Например, при существующей технологии переработки апатит-нефелиновых руд в ОАО «Апатит», анализ результатов основной обратной флотации при получении нефелинового концентрата демонстрирует, что операционные потери Al_2O_3 , составляют порядка 36%.

Одними из основных направлений в исследованиях по созданию новых технологий и обогатительного оборудования являются использование накопленного научного потенциала и современных технологий моделирования технологических процессов. Моделирование процесса флотации может быть реализовано в развивающихся сегодня CAD/CAM/CAE системах (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering). При этом отсутствуют приборное и человеческое вмешательство в изучаемый процесс и снижаются ресурсные затраты на проведение экспериментов и обработку их результатов.

В основе создания модели процесса флотации лежит CFD (Computational Fluid Dynamics) метод и метод конечных элементов (МКЭ), дополненные

математическими моделями турбулентности, вязкости и процессов обмена. Применение МКЭ является средством дискретизации пространства, преобразующим нелинейную систему с бесконечным числом степеней свободы в конечную совокупность линейных подсистем с числом степеней свободы, ограниченным количеством ее функциональных параметров. Поскольку получаемая математическая структура дифференциальных соотношений требует введения условий однозначности, созданию модели должен предшествовать процесс изучения технологических функций и режимов работы предмета моделирования. В частности, если предметом моделирования является процесс флотации, то при формулировке условий однозначности может быть использована предлагаемая общая схема (рис. 1).

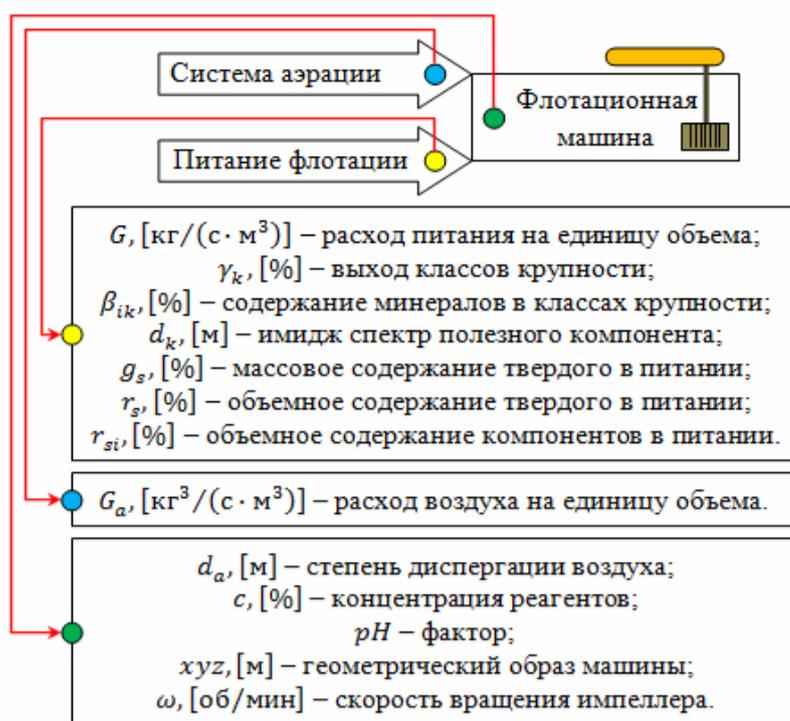


Рис. 1. Общая схема сбора и подготовки входных параметров процесса флотации для проведения вычислительного эксперимента

Основная обратная флотация при получении нефелинового концентрата в ОАО «Апатит» осуществляется во флотационной машине ОК-38 производства компании Outokumpu. Расчетная сетка может быть выполнена в сеточном генераторе Gambit с использованием конструкторской документации и по выполнению приведенных ниже пошаговых действий.

Создание геометрического образа модели (рис. 2) – первый и, несмотря на свою сравнительную простоту, наиболее важный шаг к созданию модели. Он во многом определяет дальнейшую работоспособность, необходимую точность расчета и динамичность модели. На этом шаге определяется возможность использования в модели не только стационарных, но и движущихся расчетных сеток.

Второй шаг основывается на использовании булевых операций, позволяющих заполнить рабочий объем модели и исключить из него области, занятые конструктивными элементами, заместив их жесткими непроницаемыми стенками.

Третий шаг – идентификация физических свойств объема и поверхностей модели.

Четвертый шаг собственно и есть создание расчетной сетки (рис. 3), где определяется вид конечных элементов и дискретизация моделируемого пространства.

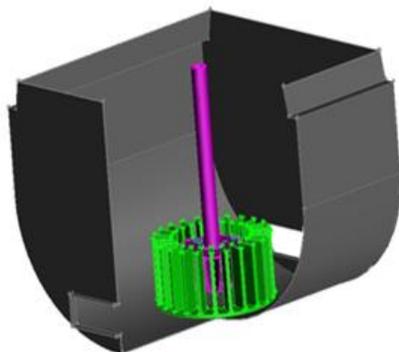


Рис. 2. Геометрический образ модели камеры флотационной машины

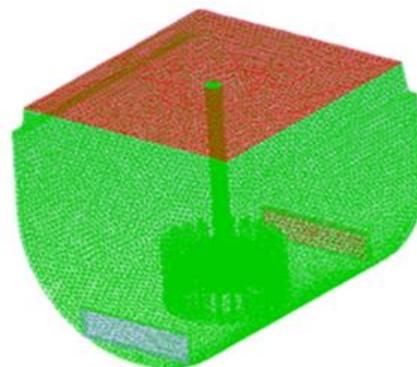


Рис. 3. Расчетная сетка модели камеры флотационной машины

Полученная расчетная сетка экспортируется в программную среду, снабженную расчетным модулем на основе математических моделей многофазной гидродинамики. Такой программной средой, в частности, является программа ANSYS Fluent. Именно здесь определяется математическая структура модели. Основными элементами модели являются полная модель гидродинамики, модель диссипации, модель взаимодействия фаз.

В контексте многофазной гидродинамики процессы, происходящие при флотации, могут рассматриваться на основе представлений о многоскоростном многофазном континууме (ММК) [2], представляющем собой совокупность множества континуумов, каждый из которых относится к своей фазе и заполняет один и тот же объем, занятый пульпой в камере флотационной машины.

Математическая интерпретация ММК находит свое выражение в удельных уравнениях Эйлеровой модели многофазного потока.

Это уравнение сохранения массы для q – фазы:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q \quad \left[\text{кг} \cdot \frac{1}{\text{м}^3 \text{с}} \right],$$

где α_q – объемная доля, ρ_q – физическая плотность и \vec{v}_q – скорость q – фазы; \dot{m}_{pq} и \dot{m}_{qp} – коэффициенты массопереноса между q – фазой и p – фазами, S_q – т.н. характеристика выброса массы фазы, которая не равна нулю только при наличии источников или стоков массы фазы в исследуемом объеме потока.

Уравнение сохранения импульса q – фазы:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla p + \nabla \bar{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{pq} + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{vm,q}) \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{м}^3 \text{с}} \right],$$

где $\bar{\tau}_q$ – тензор напряжений деформации, определяемый через сдвиговую и объемную вязкость q – фазы, \vec{F}_q – внешняя массовая сила, $\vec{F}_{lift,q}$ – подъемная сила, $\vec{F}_{vm,q}$ – виртуальная сила, которая может быть определена в качестве дополнительного силового фактора (например, влияния силовых полей, проявления внутренних тепловых эффектов и др.), \vec{R}_{pq} – сила взаимодействия между фазами, p – распределенное давление.

Уравнение сохранения энергии q – фазы:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q h_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q h_q) = \alpha_q \frac{\partial p_q}{\partial t} + \frac{\bar{\tau}_q}{\nabla \vec{v}_q} - \nabla \vec{q}_q + S_q + \sum_{p=1}^n (Q_{pq} + \dot{m}_{pq} h_{pq} - \dot{m}_{qp} h_{qp}) \left[\text{Дж} \cdot \frac{1}{\text{м}^3 \text{с}} \right],$$

где h_q – энтальпия q – фазы, \vec{q}_q – тепловой поток, S_q – характеристика учета источников и стоков энтальпии (химическая реакция, излучение и др.), Q_{pq} – интенсивность теплообмена между фазами, h_{pq} – энтальпии возможных фазовых переходов первого рода.

Флотация – процесс обогащения полезных ископаемых, основанный на различиях их удельных свободных поверхностных энергий [3]. Задача количественной оценки удельной свободной поверхностной энергии минеральных зерен может быть решена по установленной связи между ее величиной и значениями энергии ионного взаимодействия в кристаллической решетке минерала. Такой подход основывается на геоэнергетической теории А.Е. Ферсмана [4] и работах В.В. Зуева и др. [5]. Формула Ферсмана имеет вид:

$$U_v = 1071,5 \cdot \frac{\rho}{\mu} \sum_{i=1}^n \text{эк}_i j_i,$$

где U_v – объемная энергия ионного взаимодействия в кристаллической решетке минерала, кДж/см³, 1071,5 – поправка А.Е. Ферсмана на вклад ионов в энергию решетки минерала; ρ – плотность минерала, г/см³; μ – молярная масса минерала, г/моль; n – количество сортов ионов, входящих в решетку; эк_i – энергетическая константа иона i -го сорта; j_i – количество ионов i -го сорта.

Согласно работе П.В. Грушевицкого [6], для сложных по составу кристаллов энергию решетки можно оценить, разбивая формулу вещества на нейтральные группы (оксиды) и оценивая энергию каждой группы отдельно.

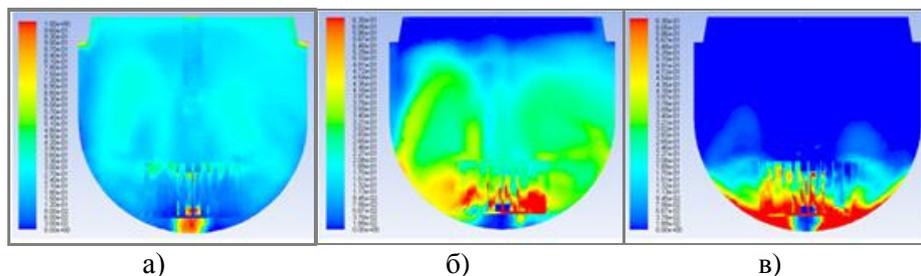
С позиции удельных значений энергии ионного взаимодействия в кристаллической решетке может быть количественно описано большинство физико-химических свойств минералов. Исследования, проведенные в работе [5], позволяют проводить расчеты удельной свободной поверхностной энергии минералов по линейной эмпирической зависимости

$$E_s = 0.0025 \cdot U_v + 0.3052 \text{ Дж/м}^2$$

с достаточно высокой достоверностью аппроксимации $R^2=0.8919$.

Для случая обратной основной флотации при производстве нефелинового концентрата на основе результатов минералогического анализа пробы питания проведены расчеты удельных свободных поверхностных энергий минералов – компонентов питания флотации.

На основе сформулированных предложений по построению компьютерной модели процесса флотационного разделения минералов проведен вычислительный эксперимент, графическая интерпретация результатов которого представлена на рис. 4.



*Рис. 4. Графическая интерпретация результатов вычислительного эксперимента – распределение концентраций компонентов пульпы по истечении 100 секунд процесса
а – газовая фаза; б – флотируемая фаза; в – нефлотируемая фаза*

Полученные результаты вычислительного эксперимента показали возможность и целесообразность использования компьютерного моделирования процесса флотации для прогнозирования значений технологических параметров (выход, содержание, извлечение) и макетирования новых образцов флотационной техники.

Литература

1. Обогащение апатито-нефелиновых руд Хибинского массива / Под. ред. Г.А. Голованова. - Мурманское книжное изд-во, 1967. – 175 с.
2. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. -М.: Наука, 1987. – 464 с.
3. Глембоцкий, В.А. Флотация / В.А. Глембоцкий, В.И. Классен. -М.: Недра, 1973. – 384 с.
4. Ферсман, А.Е. Геохимия /А.Е. Ферсман. -М.-Л., ОНТИ, Химтеорет, 1936. – 355 с.
5. Зуев, В.В. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов /В.В. Зуев, Л.Н. Поцелуев, Ю.Д. Гончаров. –С-Пб, 2006. – 136 с.
6. Грушевицкий, П.В. Уч. зап. ЛГУ, № 178, серия геолог., вып. 4, 1954.

Сведения об авторах

Скороходов 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

С.А. Козырев, В.Ф. Скороходов, Р.М. Никитин, П.В. Амосов, В.В. Массан
Горный институт Кольского НЦ РАН

CFD МЕТОД В КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Аннотация

Работа является пилотным этапом 3D компьютерного моделирования аэродинамических условий карьера рудника «Железный» с использованием программного комплекса ANSYS Fluent. Рассмотрена принципиальная возможность использования CFD (Computational Fluid Dynamics) моделирования для оценки и прогнозирования состояния атмосферы внутри глубоких карьеров.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, аэродинамические условия, глубокий карьер, распределение воздушных масс, CFD-метод.

S.A. Kozyrev, V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, P.V. Amosov, V.V. Massan

CFD METHOD IN COMPUTER TECHNOLOGY AS A TOOL TO STUDY THE AERODYNAMICS OF DEEP OPEN PITS

Abstract

The work is a pilot stage 3D computer modeling of the aerodynamic conditions of the quarry mine "Iron" using software ANSYS Fluent. Considered the possibility of using CFD (Computational Fluid Dynamics) modeling to assess and predict the state of the atmosphere inside deep pits.

Keywords:

computer simulation, aerodynamic conditions, deep pit, the distribution of air masses, CFD method.

С развитием наукоемких информационных технологий все в большей степени становится возможным проведение исследований физических процессов, протекающих непосредственно в различных технологических циклах и природной среде, состояние которой в той или иной степени определяет условия их осуществления.

Объектом исследований данной работы явился карьер рудника «Железный» Ковдорского ГОКа.

Актуальность работы состоит в необходимости развития существующей производственной системы мониторинга и прогнозирования условий добычи рудного сырья и повышения промышленной безопасности при проведении взрывных работ и интенсивной эксплуатации технологического транспорта. В условиях развития производства, что предполагает увеличение объемов выработки и размеров карьера, изменение прилегающего ландшафта, в том числе, за счет складирования вскрыши и последующий переход на подземный способ добычи с нижних горизонтов карьера, заблаговременное получение информации о характере воздушных течений и составе атмосферы является необходимым при планировании горных работ.

На протяжении ряда лет данная проблема исследуется в Горном институте КНЦ РАН с применением программы COMSOL Multiphysics. Был проведен ряд работ [1-4], которые позволили получить 2D информацию о характере воздушных течений на верхних и глубинных горизонтах карьера, выявить закономерности распределения воздушных масс внутри карьера с учетом климатических особенностей территории.

В ходе его выполнения авторами решались следующие задачи: создание виртуального геометрического образа самого карьера на основе базы данных текущей геодезической съемки; постановка расчетной задачи в условиях однозначности, отвечающих среднегодовым значениям метеонаблюдений; учет влияния на распределение воздушных потоков внутри карьера рельефа прилегающей территории.

Геометрический образ карьера и рельефа прилегающей территории выполнен в сеточном генераторе Gambit (рис. 1). Расчетная сетка модели поверхностей содержит 17000 узловых точек и охватывает горизонтальную проекцию карьера и прилегающей территории площадью $8,5 \text{ км}^2$, соответственно в осях «Север-Юг» – 3,4 км и «Восток-Запад» – 2,5 км.

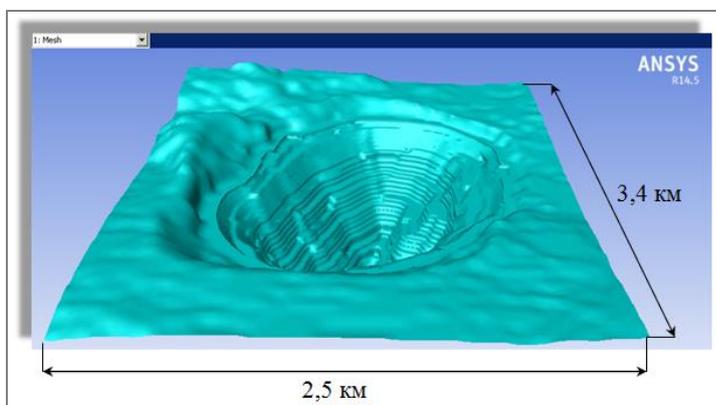


Рис. 1. Геометрический образ карьера и рельефа прилегающей территории

Расчетная область модели (рис. 2) представляет собой трехмерную прямоугольную область с высотой от верхнего горизонта карьера 750 м.

Конечно-элементная расчетная сетка модели состоит из тетрагональных элементов (Tet/Hybrid, Type: TGrid), соответственно, для области карьера с размерами ребра 28,4 м, для области надкарьерного пространства – 42,6 м. Общая емкость сетки составила 734811 элементов.

Задача решалась в стационарном режиме с использованием стандартной (k-ε)-модели турбулентности. Для решения использовался компьютер с характеристиками 2.93 GHz, 8.00 ГБ и программным обеспечением Windows 7(max), 64-ОС.

В ходе решения задачи, прежде всего, установлена возможность использования 3D компьютерного моделирования для оценки и прогнозирования состояния атмосферы внутри глубоких карьеров. Получена визуальная и количественная информация о распределении воздушных потоков во всем моделируемом пространстве, включая приповерхностные слои карьера и прилегающей территории.

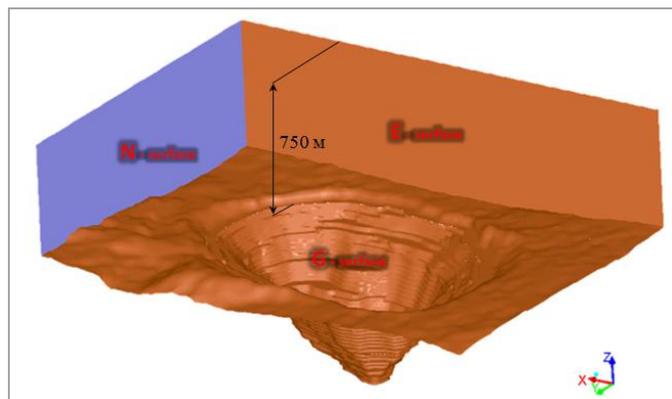


Рис. 2. Расчетная область модели

На рис. 3 представлены, по срезам моделируемого пространства, поля градиента скорости воздушных потоков при заданных направлениях и скорости ветра. Рис. 3 показывает принципиальную возможность оценки скорости воздушных потоков в любой точке модели как в значениях магнитуды вектора скорости, так и направления.

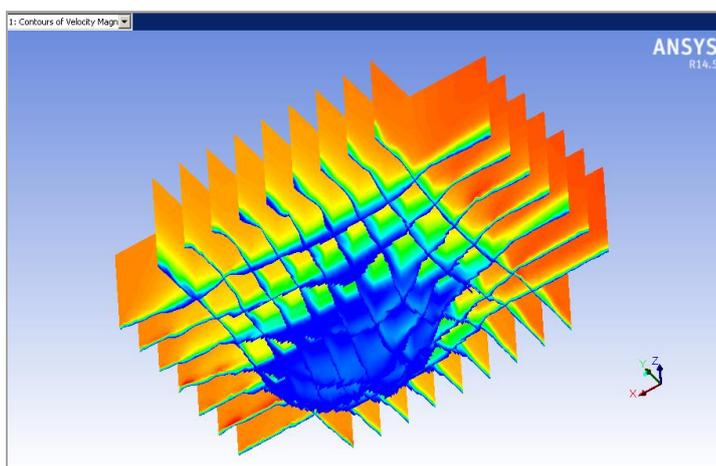


Рис. 3. Поля градиента скорости воздушных потоков

Возможности ANSYS Fluent также позволили получить поля вектора скорости ветра для любого из сечений карьера в стационарном режиме ветровой нагрузки. На рис. 4 показано поле магнитуды воздушного потока для центрального сечения карьера при южном направлении ветра.

Визуализация параметров воздушных потоков в исследуемой области делает возможной оценку распределения областей пространства карьера, где при заданных условиях задачи наблюдается изменение кинетической энергии ветра, что способствует формированию вихревых течений (рис. 5). Так использование постпроцессора ANSYS Fluent позволяет осуществить верификацию результатов исследований с теоретически ожидаемыми данными, которые, в свою очередь, согласуются с результатами 2D моделирования, не учитывающими влияние реальной геометрии моделируемой области пространства.

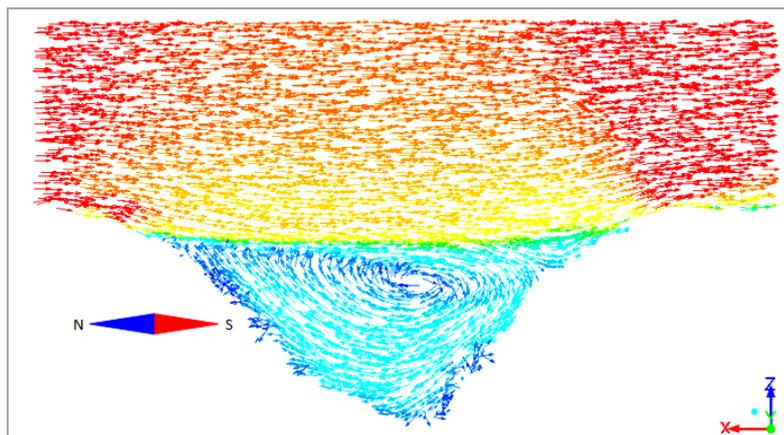


Рис. 4. Поле магнитуды воздушного потока для центрального сечения карьера при южном направлении ветра

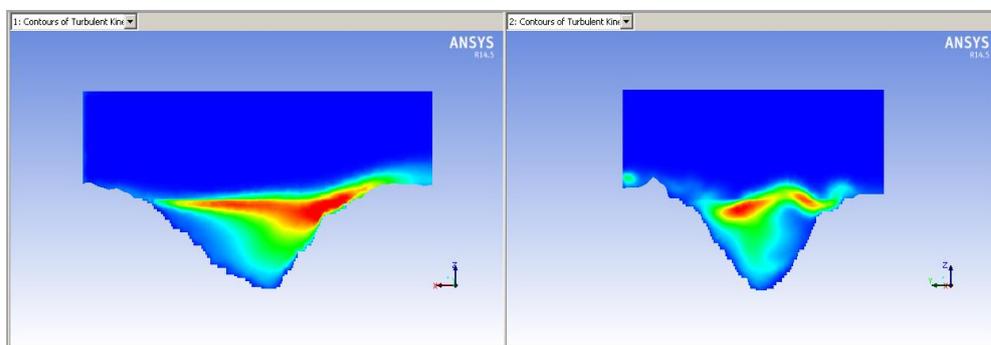


Рис.5. Визуализация характера турбулентности для двух перпендикулярных центральных срезов моделируемой области

Одной из задач при построении модели является получение информации о распределении и интенсивности приповерхностных воздушных течений. На рис. 6 показано, что с помощью использованного метода CFD моделирования решение данной задачи реализуется как для приповерхностных областей пространства, так и в любой зоне моделируемой области. Причем представление результатов расчета возможно в количественном, векторном, статическом и динамическом (компьютерная анимация параметров процесса) виде.

Представленная задача может рассматриваться как основа дальнейших исследований аэродинамики глубоких карьеров на примере рудника «Железный». По мнению авторов оптимизация задачи предполагает выполнение следующих последовательных шагов: уточнение и расширение границ исследуемой области пространства; временная корректировка направления и интенсивности ветра; придание исследуемой области континуальных свойств для учета распределения в исследуемом пространстве газовых включений, взвесей и аэрозолей; обеспечение контроля над изменением термодинамических параметров среды (давление, температура и влажность атмосферы).

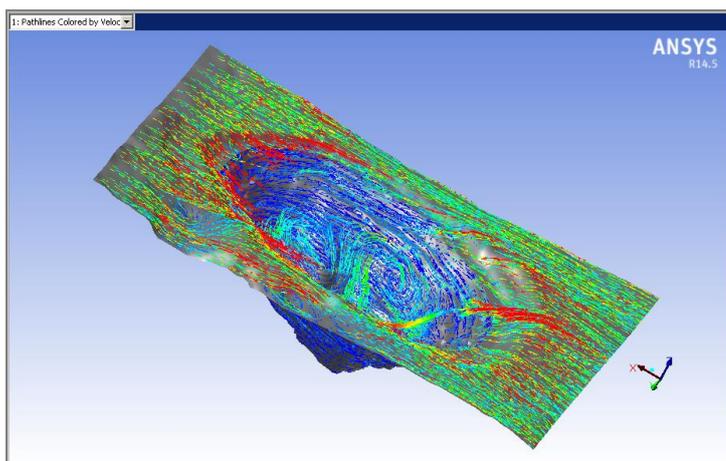


Рис. 6. Линии тока ветра в приповерхностных областях карьера и прилегающей территории

Литература

1. Козырев, С.А. Моделирование аэродинамических процессов в глубоких карьерах /С.А. Козырев, П.В. Амосов // Глубокие карьеры: сборник докладов Всероссийской научно-техн. конф. с международным участием, 18-22 июня 2012 г., г. Апатиты, ГоИ КНЦ РАН. - СПб., 2012. – С.470-474.
2. Козырев, С.А. Пути нормализации атмосферы глубоких карьеров /С.А. Козырев, П.В. Амосов // Вестник МГТУ. - 2014. - Т.17, №2. – С.231-237.
3. Козырев, С.А. Моделирование распределения воздушных потоков в глубоких карьерах /С.А. Козырев, П.В. Амосов //Горный журнал. - № 5. –2014. –С.7-11.
4. Козырев, С.А. Применение CFD-моделей при решении задач рудничной аэрологии / С.А. Козырев, П.В. Амосов // Горный информ.-анал. бюл. – 2014. – №8. – С.204-211.

Сведения об авторах

Козырев Сергей Александрович - д.т.н., зав. лабораторией технологических процессов при добыче полезных ископаемых,
e-mail: skozirev@goi.kolasc.net.ru

Скороходов Владимир Федорович - д.т.н., зав. лабораторией новых обогатительных процессов и аппаратов,
e-mail: skorohodov@goi.kolasc.net.ru

Никитин Роман Михайлович - ведущий технолог лаборатории новых обогатительных процессов и аппаратов,
e-mail: remnik@yandex.ru

Амосов Павел Васильевич - к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории проблем освоения и рационального использования подземного пространства,
e-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

Массан Владимир Васильевич - инженер лаборатории технологических процессов при добыче полезных ископаемых,
e-mail: masjanja_gd@mail.ru

Научное издание

ТРУДЫ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ВЫПУСК 5

Технический редактор Мигулян С.И.
Редактор Малыгина С.Н.

Подписано к печати 15.12.2014 г.
Формат бумаги 60x84 1/8
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cirillic
Усл. печ. л. 29.6. Заказ № 42. Тираж 100 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр центра Российской академии наук
184209, г. Апатиты Мурманская область, ул. Ферсмана, 14