

Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



8/2020 (11)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

выпуск 11

Апатиты
2020

0+

Российская Академия Наук

0+

8/2020 (11)

УДК 551.46
ISSN 2307-5252

ТРУДЫ

Кольского научного центра

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

выпуск 11

Научно-информационный журнал

Основан в 2010 году
Выходит 11 раз в год

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-58457 от 25.06.2014
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Главный редактор, председатель Редакционного совета
С. В. Кривовичев, чл.-корр. РАН, д. г.-м. н., проф.

Заместитель главного редактора
В. К. Жиров, чл. - корр.

Редакционный совет:
академик Г. Г. Матишов,
чл. - корр. А. И. Николаев,
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин
д. т. н. В. А. Путилов,
д. ф. - м. н. Е. Д. Терещенко,
к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии
«Информационные технологии»:
профессор, д.т.н. В. А. Путилов (отв. редактор),
д.т.н. А. Г. Олейник (зам. отв. редактора),
профессор, д.т.н., В. А. Марлей,
д.т.н. В. А. Маслобоев

Научное издание

Научное издание
Ответственный за выпуск: А. Л. Щур
Технический редактор: В. Ю. Жиганов
Подписано к печати 7.12.2020.
Дата выхода в свет 16.12.2020.
Формат бумаги 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 17,85. Заказ № 60. Тираж 300 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии:
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН»
184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 14
Тел.: (81555) 7-53-50; 79-5-95, факс: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru, naukaprint.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.	
Введение.....	9	
В.В. Быстров Д.Н. Халиуллина С.Н. Малыгина	Технология динамического конфигурирования сетевидной системы информационной поддержки управления региональной безопасностью.....	11
А.А. Зуенко О.В. Фридман О.Г. Журавлева С.А. Жукова	Методы групповой классификации на основе теории мультимножеств в задаче локализации зон с различным уровнем сейсмической активности при ведении горных работ.....	26
П.А. Ломов М.Л. Малоземова	Обучение и применение нейросетевой языковой модели для пополнения онтологии.....	38
Е.О. Неупокоева В.В. Быстров С.Н. Малыгина	Обзор транспортно-логистических имитационных моделей платформы AnyLogic Cloud.....	46
А.Г. Олейник В.В. Бирюков Р.М. Никитин	Формальное определение элементов технологической схемы обогащения на основе анализа свойств перерабатываемого сырья.....	57
Ю.А. Олейник А.А. Зуенко	Глобальные ограничения при моделировании и решении задач в рамках парадигмы Constraint Programming.....	67
А.В. Трашкова А.В. Вицентий	Выбор способа реализации тренажера-симулятора для системы трехмерного моделирования открытых горных работ.....	83
М.Г. Шишаев	Нейросетевые модели в задачах семантического анализа текстов на естественном языке.....	91
В.П. Авдотьян А.А. Кононов А.К. Поликарпов К.В. Черныш	СТАТЬИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДОКЛАДОВ: Ранкритериальные модели управления безопасностью межсистемных взаимодействий критических инфраструктур на урбанизированных территориях.....	101
А.М. Альбертьян И.И. Курочкин	Использование специализированных вычислителей на узле грид-системы для решения комбинаторных задач.....	105

Е.В. Балбукова	Постановка задачи создания информационной системы оценки и прогнозирования состояний энергетического котла.....	110
А.В. Вицентий В.В. Диковицкий М.Г. Шишаев	Технология извлечения и визуализации пространственных данных, полученных при анализе текстов.....	115
А.А. Галяев Е.Я. Рубинович	Планирование маршрутов АНПА в конфликтной среде.....	119
М.А. Горелов Ф.И. Ерешко	Модельное обустройство цифровых платформ....	123
С.В. Дубовский	Темп прироста ВВП как регрессия от внутренних и внешних факторов.....	135
Б.А. Кулик А.Я. Фридман	Применение алгебры кортежей для моделирования и анализа неопределенностей в знаниях.....	140
А.В. Маслобоев В.А. Путилов	Роль ситуационных центров в управлении региональной безопасностью в условиях цифровой экономики.....	144
А.Г. Олейник А.Я. Фридман	Структура комплексных концептуальных пространств в междисциплинарных проектах.....	150
А.В. Смирнов Н.Н. Тесля	Децентрализованное планирование действий коалиции роботов на основе использования умных контрактов.....	155
А.Я. Фридман Б.А. Кулик	Возможности управления сетевыми системами на основе знаковых формализмов.....	161
Д.С. Черешкин Г.В. Ройзензон В.Б. Бритков	Интеллектуальные методы анализа рисков.....	165
М.Г. Шишаев П.А. Ломов	Концепция применения слабо-контролируемого обучения в задачах построения мультимедийных информационных систем.....	171
Б.С. Дарховский Ю.А. Дубнов А.Ю. Попков	ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ: Безмодельные технологии классификации многомерных временных рядов на базе теории эпсилон-сложности.....	176
И.И. Курочкин С.М. Дурсунов	Зонтичный проект распределенных вычислений E-governance.....	178

А.В. Назин	Поиск седловой точки выпукло-вогнутой стохастической игры адаптивным методом зеркального спуска.....	182
Е.Р. Орлова	Макросистемы и мегапроекты: сходства и различия.....	184
Ю.С. Попков	Элементы рандомизированного прогнозирования и его применение для предсказания суточной электрической нагрузки энергетической системы.....	187
В.К. Пимешков В.В. Диковицкий М.Г. Шишаев	Извлечение отношений тезауруса из текстов на естественном языке с использованием статистических и лингвистических методов.....	188
А.Л. Щур И.О. Датъев А.М. Фёдоров	Анализ онлайн-социальных сетей: основные сложности и области приложения.....	192
А.Л. Щур А.М. Фёдоров И.О. Датъев	Онлайновые социальные сети и E-participation.....	196
С.Ю. Яковлев А.С. Шемякин	Информационная технология графического моделирования решений, принятых в условиях неопределённости.....	198
С.Ю. Яковлев А.С. Шемякин А.В. Шестаков	Информационная технология учёта рельефа прилегающей местности при решении задач оценки промышленно-природных опасностей и рисков.....	202

8/2020 (11)

UDC 551.46
ISSN 2307-5252

Russian Academy of Sciences

0+

TRANSACTIONS

Kola Science Centre

INFORMATION TECHNOLOGIES

series 11

Editorial Council:

G. G. Matishov, Acad. of RAS,
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS,
F. D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),
V. A. Putilov, Dr. Sc. (Engineering),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sc.
(Physics and Mathematics),
A. S. Karpov PhD (Engineering) –
Executive Secretary

Editorial Board of Information Technologies Series:

V. A. Putilov, Dr.Sc., Prof. (Editor-in-Chief),
A. G. Oleynik, Dr.Sc. (Eng.) (Vice Editor-in-Chief),
V. A. Marley, Dr.Sc. (Eng.),
V. A. Masloboyev, Dr.Sc. (Eng.)

Editor-in-Chief: S. V. Krivovichev,
Corr. Member of the RAS, Prof.

Deputy Editor-in-Chief:
V. K. Zhironov, Cor. Member of RAS

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region,
184209, Russia
Tel. (81555) 7-53-50; 79-5-95, Fax: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru, naukaprint.ru

© Institute for Informatics and Mathematical Modeling - Subdivision
of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the
Russian Academy of Sciences", 2020
© Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, 2020

CONTENTS

	Page
Introduction	10
V.V. Bystrov D.N. Khaliullina S.N. Malygina	Technology for dynamic configuration of the network-centric information support system for regional security management..... 11
A.A. Zuenko O.V. Fridman O.G. Zhuravleva S.A. Zhukova	Methods of group classification based on the theory of multisets in the problem of localizing zones with different levels of seismic activity during mining..... 26
P.A. Lomov M.L. Malozemova	Training and application of neural network language model for ontology population..... 38
E.O. Neupokoeva V.V. Bystrov S.N. Malygina	Overview of transport and logistics simulation models of the AnyLogic cloud platform..... 46
A.G. Oleynik V.V. Birukov R.M. Nikitin	Formal definition of the concentration flowsheet elements based on the analysis of the processing raw materials properties..... 57
Yu.A. Oleynik A.A. Zuenko	Global constraints in modeling and solving problems within the Constraint Programming paradigm..... 67
A.V. Trashkova A.V. Vicentiy	Choice of the simulator implementation method for a three-dimensional modeling system of open-pit mining operations..... 83
M.G. Shishaev	Neural network models in the problems of semantic analysis of natural language texts..... 91
DEDICATED CONFERENCE PAPERS:	
V.P. Avdotin A.A. Kononov A.K. Polikarpov K.V. Chernysh	Criteria models for security management of intersystem interactions of critical infrastructures in urbanized territories..... 101
A.M. Albertian I.I. Kurochkin	Use of specialized computational devices on the node of the desktop grid system for the solve of combinatorial problems..... 105

E.V. Balbukova	The problem statement of an information system creation for evaluating and forecasting the states of the power boiler.....	110
A.V. Vicentiy V.V. Dikovitsky M.G. Shishaev	The technology of extraction and visualization of spatial data obtained by texts analysis.....	115
A.A. Galyaev E.Ya. Rubinovich	AUUV path planning in threat environment.....	119
M.A. Gorelov F.I. Ereshko	Digital platforms and modeling.....	123
S.V. Dubovsky	Rate of a gain of gross national product as regress from internal and external factors.....	135
B.A. Kulik A.Ya. Fridman	Application of n -tuple algebra for modeling and analysis of uncertainties in knowledge.....	140
A.V. Masloboev V.A. Putilov	The role of situational centers in regional security management under digital economy....	144
A.G. Oleynik A.Ya. Fridman	Structure of integrated conceptual spaces in interdisciplinary projects.....	150
A.V. Smirnov N.N. Teslya	Decentralized action planning in robot coalition using smart contracts.....	155
A.Ya. Fridman B.A. Kulik	Opportunities for managing netcentric systems based on symbolic formalisms.....	161
D.S. Chereshkin G.V. Royzenson V.B. Britkov	Intellectual risk analysis methods.....	165
M.G. Shishaev P.A. Lomov	Concept of weak-supervision approach use in multi-subject-domain information systems development.....	171
CONFERENCE SHORT REPORTS:		
B.S. Darkhovskiy Y.A. Dubnov A.Y. Popkov	Model-free classification of multivariate time-series based on epsilon-complexity theory.....	176
I.I. Kurochkin S.M. Dursunov	Umbrella distributed computing project E-governance.....	178
A.V. Nazin	Search for a saddle point of a convex-concave stochastic game by the adaptive method of mirror descent.....	182

E.R. Orlova	Macro-systems and megaprojects: similarities and differences.....	184
Y.S. Popkov	Elements of randomized prediction with application to forecasting of daily electrical load in energy systems.....	187
V.K. Pimeshkov V.V. Dikovitsky M.G. Shishaev	Extraction of relation from natural language texts using statistical and linguistic methods.....	188
A.L. Shchur I.O. Datyev A.M. Fedorov	Social networking services analysis: main challenges and application areas.....	192
A.L. Shchur A.M. Fedorov I.O. Datyev	Social networking services and E-participation..	196
S.Yu. Yakovlev A.S. Shemyakin	Information technology of graphic modeling of decisions taken under uncertainty.....	198
S.Yu. Yakovlev A.S. Shemyakin A.V. Shestakov	Information technology for accounting nearby area relief when solving tasks of assessing industrial and natural hazards and risks.....	202

ВВЕДЕНИЕ

В одиннадцатом выпуске серии «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН представлены работы, отражающие результаты исследований в области разработки теоретического базиса, создания информационных технологий и программно-инструментальных средств, ориентированных на поддержку решения задач управления природно-промышленными и социально-экономическими системами. Авторы уделяют особое внимание учету специфических факторов, влияющих на функционирование и развитие объектов управления, локализованных в Арктической зоне Российской Федерации. К ним, в частности, относится целесообразность использования сетевых решений и междисциплинарного подхода к решению задач развития. Важную роль играет создание удобного для восприятия и анализа информационного базиса, на основе которого возможно принятие обоснованных решений. Стратегия развития российской Арктики предусматривает совершенствование транспортной инфраструктуры. Эффективным инструментом поиска решений в данной области являются инструменты имитационного моделирования и геоинформационных технологий. Традиционно в выпуске представлены статьи, посвященные разработке информационных технологий поддержки горно-промышленного комплекса, занимающего ключевые позиции в экономике Мурманской области. Сложность объектов управления и изменчивость условий их функционирования определяют необходимость разработки и развития новых подходов, позволяющих оперативно перенастраивать используемые модели, оперировать как количественной, так и качественной информацией.

В настоящий выпуск также включены работы, которые были заявлены на XIII Всероссийскую конференцию «Методологические проблемы управления макросистемами». С 2004 года конференция, организуемая Институтом системного анализа, проводилась регулярно один раз в два года в г. Апатиты на базе Института информатики и математического моделирования Кольского научного центра Российской академии наук. Тематика конференции включает в себя широкий спектр вопросов как развития методологии системного подхода и системного анализа, так и применения теоретических разработок к решению конкретных задач управления макросистемами. В 2020 году в связи с ограничительными мерами, обусловленными эпидемиологической обстановкой, проведение конференции было отложено. Часть материалов представлена в развернутом виде, а часть в виде кратких аннотационных сообщений.

Выпуски серии «Информационные технологии» адресованы специалистам в области моделирования, разработки, создания и практического использования систем и технологий информационной поддержки принятия решений в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам вузов соответствующих специальностей.

INTRODUCTION

Articles reflecting the results of research in the development of a theoretical basis, the creation of information technologies and software are presented in the eleventh issue of the "Information Technologies" series of Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. The presented results are focused on the solution support of the managing problems in natural-industrial and socio-economic systems. The authors pay special attention to taking into account specific factors affecting the functioning and development of control objects that are localized in the Arctic zone of the Russian Federation. These include, in particular, the feasibility of using network-centric solutions and an interdisciplinary approach to solving development problems. An important role is played by the creation of an information basis, convenient for perception and analysis, on the basis of which it is possible to make informed decisions. The Strategy of the Russian Arctic development provides for the improvement of the transport infrastructure. An effective means for solutions finding in this area are tools for simulation and geoinformation technologies.

Traditionally, the issue contains articles devoted to the development of information technologies to support the mining industri complex. This industry occupies key positions in the economy of the Murmansk region. The complexity of control objects and the variability of their functioning conditions predetermine the need for the development of new approaches that allow to quickly reconfigure the used models, operate with both quantitative and qualitative information.

This issue also includes works that were announced at the XIII All-Russian Conference "Methodological Problems of Macrosystem Management". Since 2004, the conference, organized by the Institute for Systems Analysis, has been held regularly every two years in Apatity on the basis of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. The topics of the conference includes a wide range of issues of both the development of the system approach methodology and system analysis, and the application of theoretical developments to solving specific problems of macrosystem management. In 2020, due to the epidemiological situation, the conference was postponed. Some of the materials are presented in expanded form, and some in the form of short annotation messages.

The "Information Technologies" series is addressed to specialists in the field of modeling, as well as the development, creation and practical use of systems and technologies for information support of decision-making in various areas of management and production, to lecturers and students of relevant specialties.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.001
УДК 004.94, 004.75

В.В. Быстров, Д.Н. Халиуллина, С.Н. Малыгина

*Апатиты, Институт информатики и математического моделирования
ФИЦ КНЦ РАН*

ТЕХНОЛОГИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Аннотация

Статья посвящена разработке программных средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью. Авторы формулируют понятия конфигурации сетецентрической системы поддержки управления и ее динамического конфигурирования. Предлагается концептуальная схема конфигурации в нотации ER-диаграмм и ее реализация в виде конфигурационного файла. Описывается технология динамического конфигурирования многоуровневых сетецентрических информационно-управляющих систем. Технология предназначена для автоматизированного развертывания сети программных агентов и их параметрической настройки в зависимости от контекста решаемой прикладной задачи.

Ключевые слова:

динамическое конфигурирование, конфигурация информационной системы, сетецентрическое управление, региональная безопасность.

V.V. Bystrov, D.N. Khaliullina, S.N. Malygina

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

TECHNOLOGY FOR DYNAMIC CONFIGURATION OF THE NETWORK-CENTRIC INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR REGIONAL SECURITY MANAGEMENT

Abstract

The article is devoted to the development of software of information and analytical support for regional security management. The authors formulate the concepts of configuration of a network-centric management support system and its dynamic configuration. The conceptual scheme of the configuration in the notation of ER diagrams and its implementation in the form of a configuration file is proposed. The technology for dynamic configuration of multi-level network-centric information and control systems is described. The technology is designed for automated deployment of a network of software agents and their parametric configuration depending on the context of the application problem being solved

Keywords:

dynamic configuration, information system configuration, network-centric management, regional security

Введение

Одним из актуальных направлений развития информационных систем является разработка систем поддержки принятия решений для разных предметных областей. В частности, в качестве перспективного тренда можно выделить создание информационно-аналитических средств поддержки

управления региональным развитием. В последние годы в рамках указанного направления активно работает научный коллектив Института информатики и математического моделирования КНИЦ РАН. Членами данного коллектива было предложено для решения задач информационной поддержки развития региональных социально-экономических систем использовать комплексную методологию, объединяющую в себе разные подходы и технологии: функционально-целевой подход, проектный и процессный подходы, концептуальное и имитационное моделирование, онтологические описания и технологии разработки многоагентных программных систем. Ключевым звеном предложенной методологии, объединяющим все перечисленные методы и технологии, является сетевое управление [1-3].

Авторами настоящего исследования и их коллегами ранее были предложены методические и инструментальные средства для организации сетецентрических систем поддержки управления региональной безопасностью [4-6]. Одной из актуальных на данный момент научно-практических задач является разработка алгоритма настройки компонентов сетевоецентрической системы поддержки принятия решений в зависимости от решаемой ею задачи. В связи с этим основное внимание в данной статье будет уделено рассмотрению одного из возможных способов решения указанной проблемы.

Динамическое конфигурирование

Традиционно в системном администрировании информационных систем процесс настройки программных продуктов принято называть конфигурированием. С другой стороны, в рамках научных дисциплин по IT-менеджменту похожие процессы рассматривают как управление конфигурацией информационных систем. Для определения смыслового содержания термина «конфигурация» приведем примеры наиболее популярных декларативных описаний данного понятия из различных областей информатики и вычислительной техники.

В общенаучной терминологии под конфигурацией понимают расположение каких-либо предметов или соотношение их частей. Данное смысловое наполнение можно выявить и в более узко специализированных областях знаний и соответствующих им документах.

Например, согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10032-2007: «Эталонная модель управления данными» в качестве конфигурации рассматривают совокупность процессов информационной системы и способ взаимосвязи этих процессов [7].

С точки зрения терминологического словаря «Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции» термин «конфигурация» объединяет понятия структуры и состава изделия и предполагает, что конкретные компоненты в составе обладают определенными значениями описывающих атрибутов [8]. Отметим, что в качестве изделия в данном случае может выступать и программный продукт.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 10746-2-2000: «Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Управление данными и открытая распределенная обработка. Часть 2. Базовая модель» конфигурация определяет набор объектов, взаимодействующих между собой посредством интерфейсов. Спецификация конфигурации может быть статической или выраженной в терминах действия динамического механизма, который изменяет конфигурацию [9].

В области информационных и компьютерных систем под конфигурацией понимают определенный набор комплектующих элементов, исходя из их предназначения, номера и основных характеристик. Обычно конфигурация означает выбор аппаратного и программного обеспечения, прошивок и сопроводительной документации [10].

С точки зрения программной инженерии [11] конфигурация программного обеспечения — совокупность настроек программы, задаваемая пользователем, а также процесс изменения этих настроек в соответствии с нуждами пользователя.

В российском ГОСТе 15971-90 «Системы обработки информации» вводится понятие «конфигурации системы обработки информации», которое определяется как совокупность функциональных частей системы обработки информации и связей между ними, обусловленная основными техническими характеристиками этих функциональных частей, а также требованиями решаемых задач [12].

Резюмируя выше изложенное, можно утверждать, что в области компьютерных технологий понятие «конфигурации» так или иначе интерпретируется как перечисление элементов некоторых искусственных систем и их настройка в зависимости от устанавливаемых кем-либо требований.

Процесс формирования конфигурации принято называть конфигурированием [13]. Под конфигурированием системы/устройства согласно [14] понимается стадия системного проектирования, заключающаяся в выборе функциональных блоков системы/устройства, размещении блоков и определении их взаимосвязей. При этом выделяется понятие автоматического конфигурирования как процесса автоматической корректировки настраиваемых параметров конфигурации устройств без ручного вмешательства, без программной коррекции настроек или переключения специальных перемычек.

Если рассматривать понятие конфигурирования относительно информационных систем (ИС), то традиционно оно связано с процессом настройки ИС с целью их адаптации к специфике области внедрения. В процессе конфигурирования ИС выполняются следующие действия: изменение объектной модели; определение авторизаций пользователей; настройка интерфейса; создание типовых объектов данных: справочников, шаблонов, отчетов, процессов и т. д.; настройка вариантов развертывания и взаимодействия программных компонентов, определение параметров системных служб, сервисов и т.д. [15].

В современных условиях конфигурирование программного обеспечения (ПО) принято называть управлением конфигурацией. Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» вводится понятие «составная часть конфигурации (configuration item)» как объект в пределах конфигурации, который удовлетворяет некоторой функции целевого применения и может быть однозначно идентифицирован в данный момент времени [16]. Таким образом, управление конфигурацией ПО обычно сводится к операциям учета и модификации соответствующих конфигурационных объектов.

В рамках текущего исследования ведется разработка технологии динамического конфигурирования сетевых управляющих систем. Одной из особенностей таких систем является настройка их конфигураций под решение актуальной на данный момент задачи предметной области. В процессе функционирования такого класса программного обеспечения решаемая задача

периодически меняется, что требует внесения соответствующих изменений в действующую конфигурацию системы. Данный процесс перенастройки предлагается называть динамическим конфигурированием.

В качестве примера разработки алгоритмов динамического конфигурирования программных систем можно выделить работу [17], которая наиболее близка к тематике текущего исследования. Данная публикация рассматривает динамическое конфигурирование системы имитационного моделирования морской обстановки в рамках разработки тактического тренажерного комплекса для ВМФ РФ. Авторы работы за счет динамического конфигурирования пытаются удовлетворить следующие требования к тренажеру: обеспечить возможность постепенного увеличения количества и сложности моделей как в ходе разработки тренажера, так и в ходе последующей модернизации, а также организовать независимость программной реализации имитационных моделей от остальных компонентов тренажера. Динамическое конфигурирование сводится к определению набора параметров имитационного комплекса, а также перечня используемых компьютерных моделей в зависимости от решаемой в данный момент задачи.

Подводя итог, в рамках данной статьи под конфигурацией сетецентрических систем управления понимается формализованное параметрическое описание компонентов разрабатываемой системы с указанием взаимосвязей между ними, которая характеризует текущее состояние программной системы в целом и может меняться в зависимости от решаемой задачи. Процесс изменения конфигурации в ходе функционирования системы при смене актуальной задачи называется динамическим конфигурированием.

Описание конфигурации сетецентрической системы

Традиционно в информационных системах конфигурация сводится к представлению компонентов системы в виде описания формата «объект конфигурации – его атрибут». В текущей работе авторы придерживаются мнения, что в конфигурации, в первую очередь, должны быть отражены конфигурационные объекты и их атрибуты, характеризующие техническую составляющую работоспособности программной системы. В соответствии с этим было принято решение в конфигурацию системы включить следующие объекты: многоагентная программная среда, распределенное хранилище данных, распределенная имитационная среда.

На высоком уровне абстракции описание конфигурации можно представить в виде ER-диаграммы (рис. 1). Так как основной задачей динамического конфигурирования является обеспечение работоспособности системы и настройка ее на решение конкретной прикладной задачи, то в конфигурацию системы включаются объекты виртуального уровня.

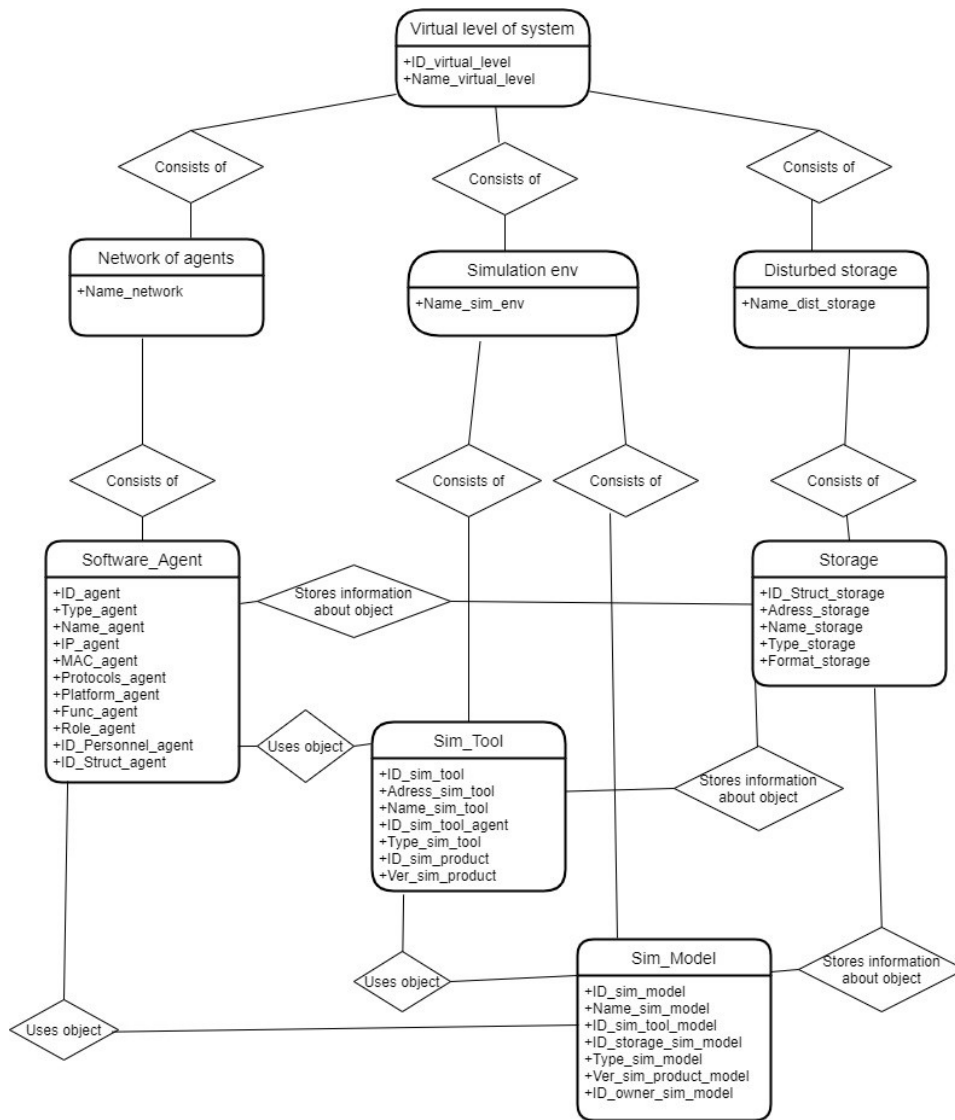


Рис.1. Концептуальная схема конфигурации системы

Многоагентная программная среда (Network_of_agents)

В разрабатываемой многоагентной сетевцентрической системе поддержки управления предлагается рассматривать два типа агентов: агенты-представители и служебные агенты. Агенты-представители предназначены для отражения интересов и реализации алгоритмов поведения в виртуальной среде реальных участников процессов решения задач управления региональной безопасностью. Служебные агенты ориентированы на обеспечение безотказного функционирования разрабатываемой программной системы.

Программный агент (*Software_Agent*) в конфигурации описывается следующими группами атрибутов: общие, сетевые, функциональные и специфические. Рассмотрим их более подробно.

1. Общие атрибуты Total – группа атрибутов, характеризующая любой программный агент в сетевом центре системы:

- ID_agent – уникальный идентификатор: неотрицательное неповторяющееся числовое значение.

- Type_agent – тип агента: текстовое значение (128 знаков; Service_ag – служебный агент, Represent_ag – агент-представитель).

- Name_agent – название агента: текстовое значение (128 знаков).

2. Сетевые атрибуты Net – группа атрибутов, отражающая расположение агента в сети:

- IP_agent – IP-адрес агента: форматированный текст (xxxx.xxxx.xxxx.xxxx).

- MAC_agent – MAC-адрес агента: числовое неотрицательное значение (48 бит).

- Protocols_agent – протоколы коммуникации агента: класс иерархии.

- TCP/IP – булево значение (true или false).

- UDP – булево значение (true или false).

- HTTP – булево значение (true или false).

- DNS – булево значение (true или false).

- ICMP – булево значение (true или false).

- FTP – булево значение (true или false).

- Platform_agent – платформа, на которой работает агент: текстовое значение (JADE, Jason и др.). В рамках текущей работы используется только платформа JADE, поскольку она является промышленным стандартом и имеет большое количество описательных материалов и вспомогательных инструментов.

3. Функциональные атрибуты Func характеризуют набор функций, которые может выполнять программный агент.

На данном этапе исследования реализуется следующий набор функций агента:

- Администрирование состава агентов (принудительное удаление агентов с платформы, процедуры уникальной идентификации агентов и др.) – ADMIN_AG.

- Коммуникация агентов (организация взаимодействия между разными агентами, в том числе и с помощью обмена сообщениями по определенному протоколу) – COMMUN_AG.

- Поиск агентов (реализация возможна разными способами: поиск по каталогу агентов на основе заданных критериев, опрос определенной группы агентов, либо комбинация этих подходов) – SEARCH_AG.

- Управление каталогом агентов (обновление информации об актуальном состоянии списка агентов в сетевом центре системы) – CATALOG_AG.

- Имитация (управление процессами организации и непосредственного проведения вычислительных экспериментов на базе имитационных моделей) – IMIT_AG.

- Взаимодействие с хранилищем данных (набор операций агентов с распределенным хранилищем информации в сетевом центре системы) – STORE_AG.

- Семантический/синтаксический анализ (разбор текстовых выражений для выделения ключевых понятий и формулировок на разных этапах решения задач) – SS_ANALYSIS_AG.

- Управление процессами решения поставленной задачи предметной области (формирование коалиции агентов на разных этапах решения задачи) – MANAGE_DA_AG.

Предлагается в качестве записи данной группы атрибутов использовать один из вариантов реализации:

- Представление в виде строки с перечислением идентификаторов функций, которые выполняет описываемый агент. Пример:

Func_agent = < ADMIN_AG, COMMUN_AG, CATALOG_AG >.

- Представление в виде фиксированного списка идентификаторов функций, которые принимают булево значение в зависимости от реализуемости агентом конкретной функции. Пример:

Func_agent = < ADMIN_AG = true, COMMUN_AG = true, SEARCH_AG = false, CATALOG_AG = true, IMIT_AG = false, STORE_AG = false, SS_ANALYSIS_AG = false, MANAGE_DA_AG = false >.

4. Специфические атрибуты Spec – группа атрибутов, характеризующая программный агент в зависимости от типа агента (служебный или агент-представитель). Так как данная группа атрибутов напрямую не влияет на техническую организацию функционирования системы, то предлагается в конфигурации системы хранить лишь уникальные идентификаторы. Более подробную информацию об объекте можно найти в соответствующих структурах распределенного хранилища информации по этим уникальным идентификаторам.

- Role_agent – роль агента: текстовое значение (128 знаков).

- ID_Personnel_agent – уникальный идентификатор представителя: числовое неотрицательное значение. Например, для служебного агента ID_Personnel_agent = 0.

- ID_Struct_agent – уникальный идентификатор структуры данных, ассоциированный с локальным хранилищем информации программного агента (например, таблицы базы данных).

Отметим, что на данном этапе исследования предлагаются следующие роли агентов: системный координатор, имитатор, сборщик данных, аналитик, администратор системы и др. [5, 6]. Список ролей служебных агентов может быть расширен за счет добавления новых комбинаций реализуемых агентами функций.

Распределенное хранилище (Disturbed_storage)

Хранилище данных сетевидной системы представляет собой обобщенное понятие, включающее в себя информационные ресурсы, организованные с помощью разных способов хранения информации (реляционные базы данных, онтологии и т.п.).

Каждое конкретное хранилище (Storage) описывается следующими атрибутами:

- ID_Struct_storage – уникальный идентификатор структуры хранилища данных: неотрицательное целое число.

- Adress_storage – сетевой адрес хранилища, например, использовать классический IP-адрес узла сети (xxxx.xxxx.xxxx.xxxx).

- Name_storage – наименование хранилища: текстовое значение (128 знаков).

- Type_storage – тип хранилища, который позволяет агенту-администратору использовать соответствующие протоколы для доступа к этому

хранилищу: текстовый идентификатор, принимающий значение из заранее определенного набора.

- `Format_storage` – поддерживаемый формат файла хранилища: текстовый идентификатор, принимающий значение из заранее определенного набора.

-

Распределенная имитационная среда (Simulation_env)

Имитационная среда включает в себя два типа объектов: средство имитационного моделирования и имитационную модель.

Средство имитационного моделирования (Sim_Tool)

- `ID_sim_tool` – уникальный идентификатор средства имитационного моделирования: неотрицательное целое число.

- `Adress_sim_tool` – сетевой адрес узла, на котором располагается рассматриваемое средство имитационного моделирования (xxxx.xxxx.xxxx.xxxx).

- `Name_sim_tool` – название средства имитационного моделирования: текстовое значение (128 знаков).

- `ID_sim_tool_agent` – идентификатор агента, который отвечает за работу средства имитационного моделирования: неотрицательное целое число.

- `Type_sim_tool` – тип инструмента имитационного моделирования, который определяет возможности среды: текстовый идентификатор, принимающий значение из заранее определенного набора. На данном этапе исследования рассматриваются два типа инструментального средства имитационного моделирования, один из которых позволяет выполнять весь спектр действий с моделью от ее разработки до верификации (например, AnyLogic Professional 8.3), а другой – служит лишь вычислительной платформой для имитации уже готовых моделей (например, AnyLogic Cloud).

- `ID_sim_product` – уникальный идентификатор программного продукта, используемого в качестве средства имитационного моделирования: неотрицательное целое число.

- `Ver_sim_product` – версия программного продукта, используемого в качестве инструментального средства имитационного моделирования: текстовое значение (128 знаков).

-

Имитационная модель (Sim_Model)

- `ID_sim_model` – уникальный идентификатор имитационной модели: неотрицательное целое числовое значение.

- `Name_sim_model` – название имитационной модели: текстовое значение (128 знаков).

- `ID_sim_tool_model` – уникальный идентификатор средства моделирования, в котором разработана имитационная модель: неотрицательное целое числовое значение.

- `ID_storage_sim_model` – уникальный идентификатор хранилища, в котором содержится файл данной модели: неотрицательное целое числовое значение.

- `Type_sim_model` – тип имитационной модели: текстовый идентификатор, принимающий значение из заранее определенного набора. На данном этапе разработки выделяются два типа модели: исполняемый файл (не

требует дополнительного программного обеспечения); файл конкретного средства имитационного моделирования (требуется соответствующий программный продукт для работы с моделью).

- Ver_sim_product_model – версия программного обеспечения, в котором разрабатывался файл имитационной модели: текстовое значение (128 знаков).
- ID_owner_sim_model – уникальный идентификатор агента-имитатора, который является владельцем данной модели и несет ответственность за ее реализацию: целое неотрицательное числовое значение.

С точки зрения программной реализации сетевцентрической системы поддержки управления конфигурация представляется в виде конфигурационного файла. Данный файл может быть представлен различными форматами: XML, JSON, INI, XSL и др. На рисунке 2 приведен пример реализации конфигурационного файла в формате XML, как наиболее распространенного в программных системах.

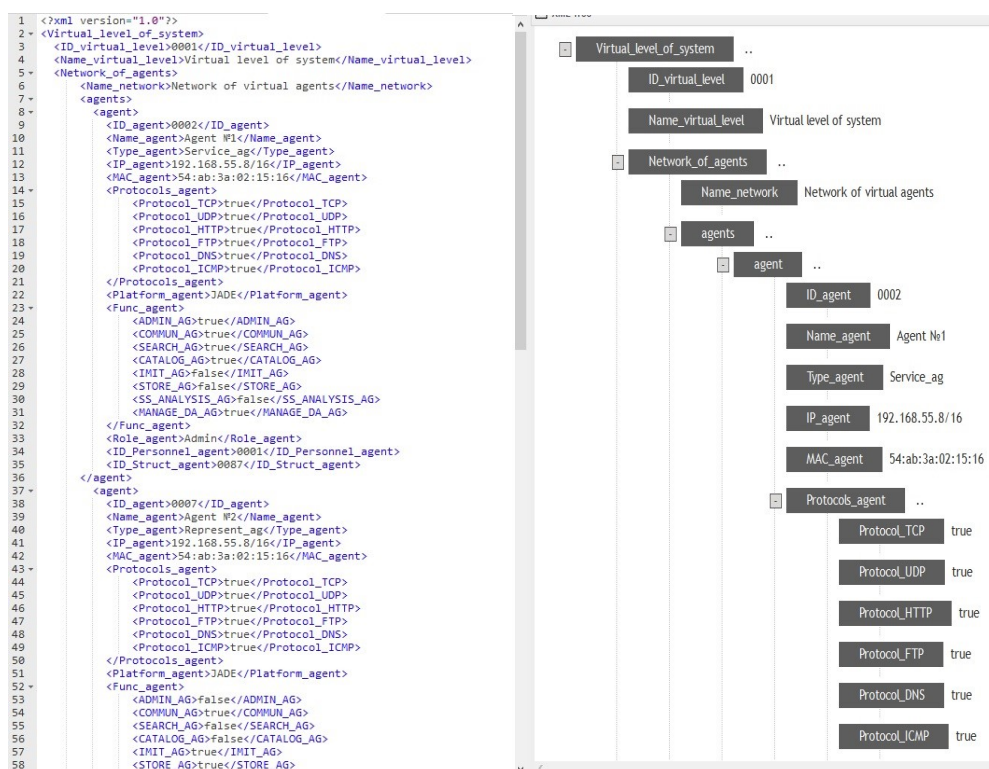


Рис.2. Пример описания конфигурации сетевцентрической системы в формате XML

Отметим некоторые особенности программной реализации процедуры оперирования с конфигурационным файлом в разрабатываемой системе. На этапе инициализации системы конфигурационный файл будет содержать информацию об определенном наборе программных агентов и ассоциированных с ними хранилищах данных. Данная совокупность программных агентов является ядром системы, без развертывания которых не представляется возможным

функционирование всей разрабатываемой системы. Обновление конфигурационного файла происходит при любой операции, затрагивающей изменение конфигурации системы, как ее состава и структуры, так и параметрического описания конфигурационной единицы.

Технология динамического конфигурирования

Основным назначением описываемой ниже технологии динамического конфигурирования сетевидческой системы поддержки управления является регламентация процессов создания и изменения в ходе функционирования системы ее конфигурации в зависимости от стадии решения задачи.

Основными этапами технологии динамического конфигурирования сетевидческой системы являются:

1. Формирование ядра сетевидческой системы.

В работе под ядром системы понимается сеть служебных агентов и объектов распределенного хранилища информации, обеспечивающая реализацию всех сервисных функций системы, в частности, администрирование состава агентов, коммуникацию агентов, поиск агентов, управление каталогом агентов, имитацию, взаимодействие с хранилищем данных, семантический/синтаксический анализ, управление процессами решения поставленной задачи предметной области и др.

На данном этапе исследования предлагается следующая схема развертывания первоначального ядра системы, в которой активное участие принимает группа сопровождения многоуровневой сетевидческой системы информационной поддержки управления региональной безопасностью. В данную группу входят специалисты, занимающиеся вопросами обеспечения работоспособности системы и ее продвижения среди заинтересованных лиц. Члены группы сопровождения договариваются, как и на каких узлах сетевой инфраструктуры физически размещаются все служебные программные агенты и распределенное хранилище информации, образующие ядро системы. В соответствии со сформированным планом технические специалисты осуществляют процесс развертывания ядра системы. При установке любого программного агента проводится процедура его саморегистрации, которая сводится к записи служебной информации в специальную структуру данных системы – каталог агентов (по принципу агентной платформы JADE). Каталог агентов содержит имя, сетевой адрес, тип и роль агента. Отметим, что технически добавление в систему объекта распределенного хранилища информации реализуется через установку и настройку служебного агента *Storage Manager*, через которого в дальнейшем и реализуется все взаимодействие с данным хранилищем информации. Аналогичная процедура проводится с объектом имитационной среды при его добавлении в сетевидческую систему. Таким образом, процесс формирования конфигурации системы реализуется служебным агентом-администратором посредством сбора параметрических описаний всех участников ядра (в режиме «запрос-ответ») и их автоматического добавления в соответствующий конфигурационный файл.

2. Формирование профессионального сообщества.

Для обеспечения эффективной работы разрабатываемой системы поддержки принятия решений в области региональной безопасности необходимо сформировать группу лиц, обладающих высокой квалификацией и набором

профессиональных компетенций для решения сложных прикладных задач. То есть необходимо сформировать профессиональное сообщество заинтересованных лиц, которые не только предлагают идеи, но и могут воплощать их в объективную реальность. Для этой цели в разрабатываемой системе реализуется веб-портал, содержащий основную информацию о системе (архитектура, задачи, функциональные возможности и др.), а также список участников и анкету для вступления в данное профессиональное сообщество. Таким образом, веб-портал реализует функцию информирования и продвижения проекта в интернет-пространстве.

При развертывании сетецентрической системы первоначальный список участников профессионального сообщества формируется вручную группой сопровождения. В соответствии с полученным перечнем участников происходит рассылка приглашений на известные адреса электронной почты и другие социальные медиа ресурсы. Для обеспечения информационной безопасности предусмотрены меры по регулированию списка участников профессионального сообщества, в частности, реализована процедура предварительного согласования кандидатов. Согласование заключается в рассмотрении членом группы сопровождения заполненной на веб-портале анкеты от кандидата в участники. При включении кандидата в профессиональное сообщество ему предлагается скачать с веб-портала программное обеспечение, которое и является программным агентом (агентом-представителем).

3. Наполнение системы агентами-представителями.

При установке программного обеспечения, ранее загруженного с веб-портала системы, запускается процедура регистрации нового программного агента. Данная процедура выполняется в автоматическом режиме в ходе взаимодействия нового агента с агентом-администратором системы. Установление связи с агентом-администратором осуществляется посредством интернет-протоколов по фиксированному IP-адресу. При установлении связи агент-администратор начинает опрос регистрируемого в системе агента с помощью служебных сообщений. В результате такого опроса на стороне агента-администратора формируется следующая информация: имя регистрируемого агента, организация, к которой прикреплен агент, его сетевые параметры и др. Полученную информацию агент-администратор распределяет между тремя компонентами системы: каталогом агентов, распределенным хранилищем данных, конфигурационным файлом. При таком распределении допускается дублирование информации об отдельных параметрах регистрируемого агента.

4. Инициация решаемой проблемы.

При необходимости любой участник профессионального сообщества посредством его программного агента-представителя может сформулировать проблему обеспечения региональной безопасности на естественном языке и инициировать процесс ее рассмотрения в разрабатываемой системе. Формулировка выдвинутой проблемы поступает служебному агенту `Manager_Problems`, выполняющего роль менеджера задач предметной области. Он фиксирует проблему в соответствующей структуре данных посредством общения с менеджером распределенного хранилища информации `Dist_Storage_Manager`. Менеджер проблем `Manager_Problems` отправляет служебному агенту `Semantic_Analysis` запрос на семантический анализ формулировки проблемы. В свою очередь агент `Semantic_Analysis` преобразует данную формулировку на

естественном языке в список ключевых слов, типа субъект проблемы, объект проблемы, условия проблемы. Промежуточные результаты данной процедуры как минимум сохраняются в локальных хранилищах данных программных агентов. На основе сформированного перечня ключевых слов агент Manager_Problems формирует поисковый запрос к распределенному хранилищу информации системы, где содержатся данные, как об актуальных, так и сохраненных в архиве проблемах.

В результате поиска формируется список семантически близких проблем к указанной. Поскольку каждой проблеме соответствует определенная конфигурация сетевцентрической системы поддержки управления региональной безопасности, то на основе полученного списка проблем можно выполнить следующие действия:

- Если проблема является архивной, то восстанавливается соответствующая конфигурация системы.
- Если проблема является актуальной, то система предлагает инициатору проблемы присоединиться к рабочей группе, решающей данную проблему.
- Если подобная проблема не найдена, то Manager_Problems инициализирует процесс создания новой конфигурации системы по указанной проблеме.

Отметим, что при наличии в системе семантически близких актуальных проблем с помощью агента Semantic_Analysis формируется обобщенная формулировка этой группы проблем на естественном языке. Данный процесс сопровождается выбором основного инициатора из числа авторов инициированных проблем. Назначение инициатора производится посредством анализа ранга агента-представителя, рассчитываемого на основе оценки его опыта работы в системе и его компетенций согласно алгоритму, представленному в работах [5, 6]. Запись в хранилище о данной проблеме производится агентом Storage_Manager автоматически.

5. Формирование коалиции агентов, участвующих в решении инициированной проблемы.

Данная процедура выполняется в том случае, если на предыдущем этапе инициированная проблема еще не решалась в системе, а значит, отсутствует соответствующая конфигурация. При формировании коалиции поиск агентов реализуется в системе служебным агентом Manager_Problems на основе определенного списка критериев, предъявляемых к потенциальным участникам коалиции. Список критериев можно формировать по-разному: первый вариант – на основе описания проблемы (в частности, по ключевым словам), второй вариант – на основе критериев, предложенных агентом-инициатором, третий вариант – гибридный (комбинация первого и второго вариантов). Поиск происходит непосредственно в специальной структуре данных – каталоге агентов системы.

В результате поиска формируется список потенциальных участников коалиции агентов. Далее в соответствии со списком производится рассылка приглашений агентам для вступления в коалицию. Агенты-представители, положительно ответившие на запрос в установленный срок, добавляются в коалицию, что фиксируется в соответствующих структурах распределенного хранилища информации.

6. Параметрическое описание сформированной коалиции в виде конфигурационного файла (конфигурации системы).

На основе сформированного на предыдущем этапе списка агентов (участников коалиции) производится запись их параметров (представленных более подробно в разделе «Описание конфигурации сетевидческой системы» текущей статьи) в конфигурационный файл рассматриваемой проблемы. Данная процедура реализуется агентом-администратором в результате его взаимодействия с агентами `Dist_Storage_Manager` и `Manager_Problems`. Все конфигурационные файлы системы, как ядра, так и ассоциированные с конкретной проблемой дублируются у агентов, входящих в ядро системы.

7. Процесс решения задачи предметной области.

В соответствии с алгоритмом решения задачи обеспечения региональной безопасности [5, 6] коалиция привлекаемых агентов изменяется от этапа к этапу. Изменение состава программных агентов двух типов, принимающих участие в рабочей коалиции, влечет за собой обновление соответствующего конфигурационного файла, ассоциированного с решаемой проблемой. Операции по отслеживанию состояния конфигурационного файла и внесения в него корректировок осуществляет агент-администратор при взаимодействии с агентом `Manager_Problems`.

В качестве примера действий, приводящих к обновлению конфигураций, можно указать следующие процедуры: построение дерева целей, синтез дерева функций, генерация цепочек процессов, формирование списка исполнителей и др.

8. Расширение ядра системы.

В процессе функционирования системы и возрастания количества одновременно решаемых проблем необходимо предусмотреть возможность увеличения вычислительной мощности и объема хранимой информации разрабатываемой системы. Эта техническая задача может быть решена за счет расширения ядра системы. Программный агент `Storage_Manager` следит за объемом свободного пространства для хранения информации на своем сетевом узле. При критическом уровне свободного места этот агент отправляет запрос на увеличение информационного пространства по следующей цепочке: `Storage_Manager` → `Dist_Storage_Manager` → Агент-администратор → Группа сопровождения системы.

Группа сопровождения системы принимает решение о способе ликвидации проблемы нехватки свободного пространства: либо увеличение дискового пространства на уже существующих узлах распределенного хранилища информации, либо добавление новых узлов. При добавлении новых узлов возникает задача обновления конфигурации ядра системы, и ее решение осуществляется по аналогии с алгоритмом, представленным на первом этапе данной технологии. Расширение распределенной имитационной среды при внесении соответствующих изменений в конфигурацию ядра системы осуществляется аналогичным способом.

9. Финализация решения прикладной задачи.

В текущей работе под финализацией решения задачи предметной области понимается получение целевых результатов для поставленной проблемы либо вывод о том, что проблема на данный момент не может быть решена полностью либо частично. Если проблема остается нерешенной, то конфигурационный файл проблемы заносится в архив нерешенных проблем. Если проблема решена, то данный конфигурационный файл заносится в архив решенных проблем. У всех агентов, имеющих доступ к конфигурационному файлу этой проблемы,

удаляются все дубликаты конфигурации. Сохранение конфигурационного файла в архиве реализовано с целью последующего его восстановления в случае необходимости (например, инициация семантически схожей проблемы).

Отметим, что предложенные выше основные этапы технологии могут выполняться не обязательно в строгой последовательности. В зависимости от способа программной реализации некоторые шаги могут осуществляться в параллельном режиме. Приводимое описание этапов технологии в рамках данной статьи не является детальным, что обусловлено желанием авторов статьи представить концептуальную схему данной технологии. Более подробное описание этапов может быть представлено в дальнейших публикациях по данной тематике.

Заключение

В данной статье уделяется внимание процессу динамического конфигурирования сетевидрической системы поддержки управления региональной безопасностью. На основе анализа открытых публикаций и регламентирующей документации в области разработки и сопровождения информационных систем определены понятия конфигурации сетевидрической системы и ее динамического конфигурирования. В результате обобщения способов имплементации конфигурации информационных систем предложены концептуальная схема конфигурации в нотации ER-диаграмм и примеры ее практической реализации в виде конфигурационного файла определенных форматов (XML, JSON, MDB и др.). В соответствии с разработанным ранее общим алгоритмом функционирования сетевидрической системы поддержки управления предложена технология динамического конфигурирования такой системы. Технология предназначена для автоматизированного развертывания сети программных агентов и их параметрической настройки в зависимости от контекста решаемой прикладной задачи.

В статье рассматриваются некоторые результаты, полученные в ходе выполнения темы НИР № 0226-2019-0035 «Модели и методы конфигурирования адаптивных многоуровневых сетевидрических систем управления региональной безопасностью в Арктической зоне Российской Федерации» государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Реализация сложных многоагентных сетевидрических систем позволяет решать комплексные задачи по управлению региональной безопасностью, а также в других предметных областях. Класс подобных информационных систем ориентирован на решение таких вопросов как фиксация в формальном виде и повторное использование экспертных знаний (опыта), мониторинг и выявление потенциально опасных ситуаций для управляемого объекта, прогнозирование и анализ возможных сценариев критических ситуаций, а также автоматизированное формирование рекомендаций для принятия обоснованных решений. Предложенная технология динамического конфигурирования позволяет обеспечить функционирование сетевидрической системы при решении перечисленных задач.

Литература

1. Korovin Iakov S., et al. Usage of Network-Centric Approach to Distributed Management of Complex Systems // Applied Mechanics and Materials, vol. 834,

- Trans Tech Publications, Ltd., Apr. 2016, pp. 199–204. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.834.199.
2. Vladimir Muliukha, Alexander Ilyashenko, Leonid Laboshin Network-centric Supervisory Control System for Mobile Robotic Groups // *Procedia Computer Science*, 2017. vol. 103. pp. 505-510. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.036>.
 3. Clay Wilson Network Centric Operations: Background and Oversight Issues for Congress // *CRS Report for Congress*, 2015. 55 p. – Режим доступа <https://fas.org/sgp/crs/natsec/RL32411.pdf> (дата обращения - 28.11.2020)
 4. Маслобоев А.В. A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control // *Надежность и качество сложных систем*. 2020. №3(31). С. 115-127. doi: 10.21685/2307-4205-2020-3-13
 5. Bystrov V.V., Khaliullina D.N., Malygina S.N. Development of the information support system components for personnel security management of the region // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. vol. 1226. pp. 348-361. doi: 10.1007/978-3-030-51974-2_34
 6. Быстров В.В., Малыгина С.Н., Халиуллина Д.Н. Разработка формальных моделей и средств сетецентрического управления кадровой безопасностью региона// *Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии*. 9/2019 (10), Выпуск 10. – С. 69-84. doi:10.25702/KSC.2307-5252.2019.9.69-84
 7. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10032-2007: «Эталонная модель управления данными» - Режим доступа <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=173888> (дата обращения 06.11.2020)
 8. Р 50.1.031-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200028627> (дата обращения 06.11.2020)
 9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 10746-2-2000: «Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Управление данными и открытая распределенная обработка. Часть 2. Базовая модель» – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=138412> (дата обращения 06.11.2020)
 10. Federal Standart 1037 – Режим доступа: <https://www.its.bldrdoc.gov/resources/federal-standard-1037c.aspx> (дата обращения 28.11.2020)
 11. ISO/IEC TR 19759:2015 Software Engineering – Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOOK) – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/67604.html> (дата обращения 28.11.2020)
 12. ГОСТ 15971-90 «Системы обработки информации. Термины и определения» - Режим доступа <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=137975> (дата обращения 06.11.2020)
 13. ГОСТ Р 54456-2011 «Телевидение вещательное цифровое. Домашняя мультимедийная платформа. Класс 1.0. Основные параметры» - Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200091429> (дата обращения 06.11.2020)
 14. ГОСТ Р 54325-2011 (IEC/TS 61850-2:2003) «Сети и системы связи на подстанциях. Часть 2. Термины и определения» - Режим доступа <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=180174> (дата обращения 06.11.2020)
 15. Вичугова А.А., Мелконян Р.Г. Инструментальные средства информационных

систем : учебное пособие // Томск : ТПУ, 2015. — 136 с. — ISBN 978-5-4387-0574-1

16. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» - Режим доступа <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=176990> (дата обращения 06.11.2020)
17. Андреев В.Ю., Базлов А.Ф. Динамическое конфигурирование системы имитационного моделирования морской обстановки // Программные продукты и системы – 2004 - №4 – С.44-46

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.002

УДК 004.832, 550.34

А.А. Зуенко¹, О.В. Фридман¹, О.Г. Журавлева², С.А. Жукова²

¹ *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН*

² *Горный институт ФИЦ КНЦ РАН*

МЕТОДЫ ГРУППОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МУЛЬТИМНОЖЕСТВ В ЗАДАЧЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОН С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ*

Аннотация

Работа посвящена оценке применимости методов групповой классификации с учителем, разработанных на основе теории мультимножеств, для решения задачи выявления зон с различной степенью сейсмической активности (на примере одного из участков высоконапряженного массива горных пород Кукисвумчоррского апатит-нефелинового месторождения). В качестве исходных объектов для процедур классификации выступают пространственные ячейки, на которые разбит участок месторождения. Каждая пространственная ячейка описывается определенным набором факторов, оказывающих, по мнению экспертов, влияние на возникновение сейсмических событий в данной ячейке. Предложено оригинальное представление пространственных ячеек (их групп) в виде совокупности мультимножеств. Проведены исследования, направленные на выявление влияния различных вариантов представления исходных данных на результат процедур классификации. Представление объектов, описываемых количественными и/или качественными признаками и существующих в нескольких версиях (экземплярах), в виде мультимножеств дает возможность не трансформировать качественные признаки в числовые при выполнении процедур кластеризации и использовать методы групповой классификации объектов. Получены обобщенные решающие правила групповой классификации для отнесения объектов (пространственных ячеек) к четырем классам сейсмической опасности. В отличие от широко применяемых в настоящее время технологий на основе нейросетевого подхода, в настоящей работе результатом обучения является не “черный ящик” в виде обученной нейронной сети, а набор правил, которые могут быть легко проинтерпретированы, что повышает доверие конечных пользователей к процедурам принятия решений.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 18-07-00615-а, 20-07-00708а.

Ключевые слова:

теория метрических пространств мультимножеств, кластерный анализ, техногенная сейсмичность.

A.A. Zuenko, O.V. Fridman, O.G. Zhuravleva, S.A. Zhukova

¹ *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

² *Apatity, Mining Institute, KSC RAS*

METHODS OF GROUP CLASSIFICATION BASED ON THE THEORY OF MULTISSETS IN THE PROBLEM OF LOCALIZING ZONES WITH DIFFERENT LEVELS OF SEISMIC ACTIVITY DURING MINING

Abstract

The work is dedicated to assessing the applicability of supervised group classification methods developed on the basis of multiset theory for solving the problem of identifying zones with different degrees of seismic activity (using the example of one of the sections of the highly stressed rock massif of the Kukisvumchorr apatite-nepheline deposit). The initial objects for classification procedures are spatial cells into which the field is divided. Each spatial cell is described by a certain set of factors that, according to experts, have an impact on the occurrence of seismic events in a given cell. An original representation of spatial cells (their groups) as a set of multisets is proposed. Studies have been carried out aimed at identifying the influence of various options for presenting the initial data on the result of classification procedures. Representation of objects described by quantitative and / or qualitative features and existing in several versions (copies) in the form of multisets makes it possible not to transform qualitative features into numerical ones when performing clustering procedures and use methods of group classification of objects. Generalized decision rules of group classification for assigning objects (spatial cells) to four classes of seismic hazard are obtained. In contrast to the currently widely used technologies based on the neural network approach, in this work, the training result is not a "black box" in the form of a trained neural network, but a set of rules that can be easily interpreted, which increases the confidence of end users in decision-making procedures.

Keywords:

theory of multisets metric spaces, mining-induced seismicity, cluster analysis

Введение

Исследуемые в работе задачи групповой классификации можно разделить на два вида: 1) задачи классификации без учителя (или задача кластеризации), 2) задачи классификации с учителем. В первом случае результат процедур классификации – это нахождение оптимального (или субоптимального) разбиения исходного множества на кластеры при заданной функции расстояния. Во втором случае, результатом служат правила классификации, которые получаются на основе анализа обучающей выборки, где для каждого объекта указана его принадлежность тому или иному классу (кластеру). В качестве исходной информации для рассматриваемых процедур классификации служат таблицы, где эксперты определяют для каждого объекта значения признаков по своему усмотрению. При этом мнения различных экспертов могут совпадать, а могут и кардинально отличаться.

Основное внимание в работе уделено оценке применимости методов групповой классификации с учителем, разработанных на основе теории мультимножеств, для решения задачи выявления зон с различной степенью сейсмической активности на примере одного из участков высоконапряженного массива горных пород Кукисвумчоррского апатит-нефелинового месторождения.

Подробное описание объекта исследований приведено в работе [1].

В настоящей работе предложено оригинальное представление групп сейсмособытий в виде совокупности мультимножеств [2]. Представление объектов, описываемых количественными и/или качественными признаками и существующих в нескольких версиях (экземплярах), в виде мультимножеств дает возможность не трансформировать качественные признаки в числовые и использовать методы групповой классификации объектов при наличии нескольких учителей (задачу групповой многокритериальной сортировки).

1. Способы представления сейсмособытий в виде мультимножеств

Как показали исследования, выполненные авторами, на конечный результат классификации сильно влияет то, каким именно способом представлены исходные сейсмические события с помощью мультимножеств. Для иллюстрации этой мысли в настоящем разделе для различных способов представления исходных сейсмособытий в виде мультимножеств приводятся результаты расчетов, полученных при решении задачи классификации без учителя (задачи кластеризации).

Кратко рассмотрим исходное объектно-признаковое представление

В качестве объектов кластеризации выступали 14 условных ячеек, на которые разбит один из участков Кукисвумчоррского месторождения. Цель кластеризации состояла в выявлении зон с различной степенью сейсмической активности и определении степени влияния стационарных и условно-стационарных факторов на происходящие сейсмособытия. Такими факторами являются геология и тектоника месторождения и прилегающего к нему района, геометрия и динамика горных работ. Каждое сейсмическое событие, отнесенное к некоторой пространственной ячейке, описывалось определенным набором признаков, каждый из которых был сопоставлен некоторому фактору, оказывающему, по мнению экспертов, влияние на возникновение сейсмических событий.

В качестве признаков использовались: P1 – разлом 1; P2 – разлом 2; ОП – границы очистного пространства; ОПв – границы очистного пространства вышележащего горизонта; В – выработки; РТ – рудное тело; ВП – вмещающие породы; РТ/ВП – рудное тело/вмещающие породы; ВБ – висячий бок рудной залежи; ЛБ – лежачий бок рудной залежи.

В таблице 1 приведены примеры представления данных. В блоке (а) таблицы 1 каждая пространственная ячейка охарактеризована с точки зрения наличия в ней некоторой совокупности признаков, также в отдельном столбце таблицы записано количество сейсмособытий N , соотнесенное с данной ячейкой. Фактически в блоке (а) каждая строка соответствует некоторой пространственной ячейке и описывает набор признаков, свойственных данной ячейке. Каждая строка блока (b) таблицы 1 получена домножением соответствующей строки блока (а) на количество сейсмособытий, произошедших в данной пространственной ячейке. В блоке (с) таблицы 1 в каждой ячейке представлены два элемента мультимножества. Например, для признака P1 в первой строке запись «2 0» означает, что значение кратности оценки «признак отсутствует» (0) равно 2, а значение кратности оценки «признак присутствует» (1) равно 0. Каждая строка блоков (b) и (с) таблицы 1 представляет собой мультимножество [2]. Фактически, эти блоки таблицы соответствуют двум альтернативным способам представления сейсмических событий в виде мультимножеств.

Проведена кластеризация сейсмособытий согласно алгоритму иерархической кластеризации, предложенному в теории мультимножеств и подробно описанному в [2]. Изначально каждый кластер состоит из единственного объекта, затем вычисляются расстояния между парами мультимножеств, представляющих кластеры, находится пара наиболее близких кластеров относительно используемой метрики и формируется новый кластер, который представляется суммой соответствующих мультимножеств и т.д. Процедура может быть также прервана на некотором шаге, например, когда величина индекса различия между объектами превысит некоторый пороговый уровень.

Таблица 1.

Варианты представления исходных данных для иерархической кластеризации

Номер ячейки	P1	P2	ОП	ОПв	PT	ВП	PT/ВП	В	ВБ	ЛБ	N
(a) 1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6
...											
(b) 1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2
2	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2
3	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0	6
...											
(c) 1	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	0 2	2 0	2 0	0 2	2 0	2
2	0 2	2 0	2 0	2 0	2 0	0 2	2 0	2 0	0 2	2 0	2
3	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	0 6	6 0	6 0	0 6	6 0	6
...											

Вычисляя последовательно шаг за шагом расстояния между всеми парами объектов/кластеров и выбирая на каждом шаге наиболее близкие пары (с минимальным расстоянием), получаем разбиение на итоговые кластеры. На рисунке 1 представлены результаты кластеризации для различных вариантов представления исходных данных.

Сравнение различных вариантов результатов кластеризации позволяет сделать вывод, что результаты зависят от исходного представления данных – меняется как ход кластеризации, так и состав результирующих кластеров. По экспертным оценкам, кластеризацию следует остановить при получении числа кластеров большего, чем два во всех случаях, так как последнее объединение кластеров, приводящее к получению двух итоговых кластеров, производится при значительном превышении расстояния между кластерами на предыдущем шаге.

Наиболее близким к экспертным оценкам является вариант "b" на рисунке 1. В дальнейших исследованиях использовалось именно это представление исходных данных.

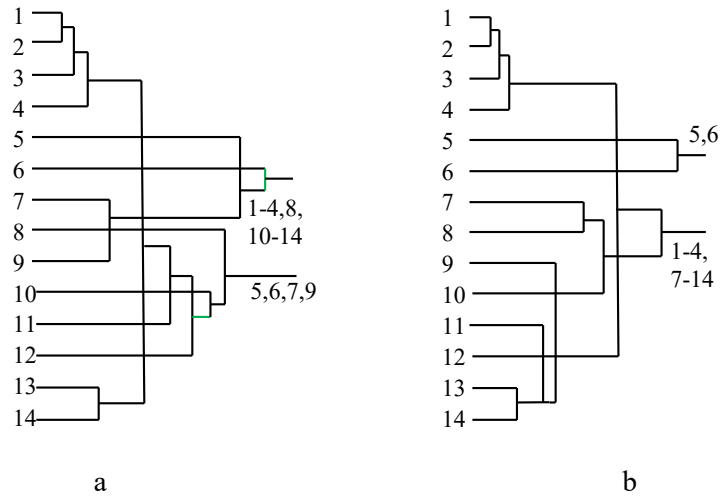


Рис. 1. Результаты кластеризации для различных вариантов представления исходных данных в виде совокупности мультимножеств: а – соответствует блоку (b) таблицы 1; b – соответствует блоку (c) таблицы 1.

2. Задача групповой многокритериальной сортировки многопризнаковых объектов при наличии нескольких учителей

Найти обобщенное решающее правило для отбора объектов для их многокритериальных оценок можно с помощью разных методов [3-7]. Методов решения задачи групповой классификации объектов существенно меньше [8]. Кроме того, все они ориентированы на количественные данные. При данных качественного характера их агрегирование тем или иным способом представляет самостоятельную, сложную задачу, так как вырабатывая классифицирующее решение необходимо учесть все, в том числе не совпадающие заключения экспертов. Необходимо сформулировать объединенное правило для отнесения объекта к классу, которое базировалось бы на характеристиках объектов и соответствовало бы индивидуальным экспертным правилам сортировки.

В самом общем смысле правила классификации представляют собой совокупность требований, которые состоят из логических утверждений следующего вида: IF {условия}, THEN {решение}. Здесь терм {условия} определяет требования, которым должны удовлетворять выбираемые объекты. Это могут быть имена объектов; значения или комбинации значений признаков, описывающих объекты; ограничения на значения признаков; отношения между объектами; правила сравнения объектов друг с другом или с некоторыми выделенными элементами классов. Терм {решение} обозначает имя формируемого класса и/или принадлежность объекта к заранее определенному классу при выполнении требуемых условий [9].

Для решения задачи групповой многокритериальной сортировки сейсмособытий при наличии нескольких учителей объект исследований представлен в виде 56 условных ячеек, на которые разбит один из участков Кукисвумчоррского месторождения. В предварительной оценке степени

сейсмической опасности для каждой ячейки принимали участие два эксперта. Оценки и заключения разных экспертов могут быть схожими, различающимися и противоречивыми. Эта несогласованность выражает субъективность экспертных суждений, которые нельзя рассматривать как случайные ошибки экспертов.

Во всех случаях эксперты проводили оценку на основании имеющихся данных о сейсмичности, а также всей совокупности влияющих факторов. Но эксперты не ограничивались только факторами, описанными в предыдущем разделе. Например, при оценке сейсмичности учитывалось не только число событий в ячейке, но и энергия событий, концентрация событий, расстояние между событиями, возможная зона влияния и др. (каждый эксперт мог использовать свой набор критериев). По факторам могли быть различные оценки степени влияния, например, при оценке влияния разломных структур могли учитываться не только наличие/отсутствие разлома, но удаленность от него, учитывалось также пересечение двух разломов. Или, например, для фактора «фронт работ» эксперт мог учитывать не только направление фронта работ, но и удаленность пространственной ячейки от него. У каждого эксперта был свой подход.

При проведении дальнейших исследований в качестве признаков использовались:

СН – структурные нарушения (например, разломы, окисленные зоны, дайки);

ГП – типы горных пород в ячейке (например, отбитая порода, рудное тело, вмещающие породы, рудное тело и вмещающие породы);

ОПтг – очистное пространство текущего горизонта;

ОПвг – очистное пространство вышележащего горизонта;

В – выработки (например, сопряжение выработок, вертикальные, горизонтальные, наклонные, целик);

С – сейсмичность (например, отсутствие сейсмичности, фоновый, низкий, средний, высокий уровни);

ВР – взрывные работы (например, проходческие, добычные);

ФР – фронт работ (например, развитие горных работ от центра к флангам, от флангов к центру, ведение горных работ в зоне стыковки (наличие открытых горных работ)).

В рамках данной работы решалась задача определения принципиальной возможности применения такого подхода. Поэтому в первом приближении, значения признаков экспертами определялись в различных диапазонах: от 0 до 5 для признака В (выработки) и от 0 до 3, от 0 до 4 для других признаков, значение 0 – отсутствие признака в ячейке. В дальнейшем возможна корректировка как диапазонов значений признаков, так и набора признаков.

Далее, согласно методу, описанному в [9], исходные данные были преобразованы и представлены в виде мультимножеств. В таблице 2 приведен фрагмент расширенной таблицы решений для данных за 2013 год с учетом оценок двух экспертов при разбиении на два кластера.

Первоначально проведено грубое разбиение на два объединенных класса, которые включали в себя экспертно определенные кластеры по степени опасности: первый класс объединяет экспертные кластеры 1 и 2, а второй – 3 и 4 экспертные кластеры. Пятого кластера с наивысшей степенью опасности в 2013 году не наблюдалось.

Таблица 2.

Фрагмент расширенной таблицы решений для данных за 2013 год

№	СН	ГП	ОПтг	ОПвг	...	С	ВР	ФР	R/C1	R/C2
	0-4	0-4	0-3	0-4	...	0-4	0-3	0-3	1	2
A1	20000	00002	2000	20000	...	10010	2000	2000	1	1
A2	01100	00002	2000	20000	...	10010	2000	2000	1	1
A3	00110	00002	2000	20000	...	20000	2000	2000	1	1
A4	02000	00002	2000	20000	...	20000	2000	2000	2	0
...

В заголовках столбцов, где находятся значения признаков, указаны их диапазоны. Строками таблицы решений служат мультимножества, сортирующие признаки R/C1 и R/C2 отражают индивидуальные заключения экспертов, относивших объекты к классам C(1,2) или C(3,4).

В ячейках таблицы размещены мультимножества, характеризующие значения отдельных признаков. Так для объекта A1 запись значений признака СН {20000} означает, что оба эксперта считают, что значение этого признака равно 0, т.е. для этого объекта этот признак отсутствует.

Далее, по алгоритму, описанному в [9], была получена агрегированная таблица решений (таблица 3).

Коллективное правило выглядит так: объект включается в класс C(1,2), если за это проголосовало большинство экспертов, в противоположном случае объект включается в класс C(3,4). Мультимножества Y/C(1,2) и Y/C(3,4) соответствуют наборам объектов, входящим в классы C(1,2) и C(3,4). Классифицирующие признаки для каждого критерия ищутся как решение соответствующей оптимизационной задачи.

Таблица 3.

Агрегированная таблица решений для объединенных классов

	СН	ГП	ОПтг	ОПвг	В
Y/C(1,2)	27 43 17 9 0	0 22 12 13 49	79 8 7 0	70 17 8 1 1	82 1 8 2 3 0
Y/C(3,4)	0 17 10 3 0	0 11 7 5 7	8 2 10 10	11 6 3 6 4	4 0 6 10 10 0
d	126	126	74	103	90
	С	ВР	ФР	R/C1	R/C2
Y/C(1,2)	41 12 5 37 2	53 13 19 11	85 11 0 0	89	7
Y/C(3,4)	4 5 6 13 2	10 3 7 10	8 17 5 0	7	23
d	119	126	88	98	

Среди всех возможных комбинаций пар содержательных мультимножеств ищутся те, которые находятся на максимальных расстояниях для каждого признака, эти расстояния отображены в строке d таблицы 3, как и расстояние

между категориальными мультимножествами R/C1 и R/C2. Далее в соответствии с полученными расстояниями признаки ранжируются по значимости и формулируются согласованные обобщенные решающие правила для групповой классификации многопризнаковых объектов.

Так, для разбиения на два обобщенных класса получены следующие правила в соответствии с ранжированием признаков (ГП, СН, ВР, С, ОПвг, В, ФР, ОПтг):

ЕСЛИ (значение признака ГП=от 1 до 4)

И (значение признака СН=от 1 до 4)

И (значение признака ВР= от 0 до 3)

И (значение признака С=от 0 до 3)

И (значение признака ОПвг=от 0 до 2)

И (значение признака В=от 0 до 2)

И (значение признака ФР=0)

И (значение признака ОПтг=0 или 1)

ТО объект принадлежит к объединенному классу **С(1,2)**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту, но на данном этапе работе еще не на естественном языке:

ЕСЛИ степень влияния типов горных пород в ячейке – от 1 до 4

И степень влияния структурных нарушений – от 1 до 4

И степень влияния взрывных работ – от 0 до 3

И уровень сейсмичности – от 0 до 3

И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – от 0 до 2

И наличие выработок в ячейке – от 0 до 2

И степень влияния фронта работ – 0

И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – от 0 до 1

ТО объект принадлежит к классу **С(1,2)** (**степень опасности** – не опасно или низкая)

Таким образом, в рамках данной работы переформулирование правил происходит на языке, понятном эксперту, а в дальнейшем (после уточнения/расшифровки степеней влияния различных факторов) будет проведена формулировка правил на естественном языке.

ЕСЛИ (значение признака ГП=от 1 до 4)

И (значение признака СН=от 1 до 4)

И (значение признака ВР= от 0 до 3)

И (значение признака С=4)

И (значение признака ОПвг=3,4)

И (значение признака В=3,4)

И (значение признака ФР=1,2)

И (значение признака ОПтг=2,3)

ТО объект принадлежит к классу **С(3,4)**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту:

ЕСЛИ степень влияния типов горных пород в ячейке – от 1 до 4

И степень влияния структурных нарушений – от 1 до 4

И степень влияния взрывных работ – от 0 до 3

И уровень сейсмичности – 4

И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – от 3 до 4
 И наличие выработок в ячейке – 3-4
 И степень влияния фронта работ – 1-2
 И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – 2-3
ТО объект принадлежит к классу **С(3,4)** (степень опасности – средняя или высокая)

После получения двух объединенных классов каждый из них был разбит на два подкласса и было получено четыре класса сейсмической опасности, что соответствует экспертным оценкам. Как уже упоминалось выше, используется пятибалльная шкала оценки опасности, но в 2013 году условных ячеек с пятым, наивысшем уровнем опасности экспертами не выделено, поэтому классификация проводилась для получения четырех результирующих классов опасности. Отметим, что в дальнейшем оценки классов сейсмической опасности для ячеек могут быть пересмотрены по мере обработки данных сейсмических наблюдений с использованием рассматриваемого подхода.

Как и в предыдущем случае, были получены расширенные и агрегированные таблицы решений (табл.4, 5).

Таблица 4.

Агрегированная таблица решений для классов 1 и 2

	СН	ГП	ОПтг	ОПвг	В
Y/C1	27 21 6 2 0	0 8 4 9 35	56 0 0 0	46 6 2 0 0	56 0 0 0 0 0
Y/C2	0 22 11 7 0	0 14 8 4 14	21 8 11 0	21 11 6 1 0	26 1 8 2 3 0
d	42	36	58	41	68
	С	ВР	ФР	R/C1	R/C2
Y/C1	29 5 0 22 0	40 8 6 2	54 0 0 0	35	22
Y/C2	11 7 5 15 2	13 5 13 9	29 11 0 0	22	14
d	68	44	72	21	

Сформулированы обобщенные решающие правила для классов 1 и 2 в соответствии с ражированием признаков (ФР, В, С, ОПтг, ВР, СН, Опвг, ГП):

ЕСЛИ (значение признака ФР=0)
 И (значение признака В=0)
 И (значение признака С=0 ИЛИ С=3)
 И (значение признака ОПтг=0)
 И (значение признака ВР= 0 или 1)
 И (значение признака СН=0)
 И (значение признака ОПвг=0)
 И (значение признака ГП=3 ИЛИ ГП=4)

ТО объект принадлежит к классу **С1**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту:

ЕСЛИ степень влияния фронта работ – 0 (нет)

- И наличие выработки – 0 (нет)
- И уровень сейсмичности – 0 или 3
- И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – 0 (нет)
- И степень влияния взрывных работ – 0 или 1
- И степень влияния структурных нарушений – 0 (нет)
- И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – 0 (нет)
- И степень влияния типов горных пород в ячейке – 3-4

ТО объект принадлежит к классу **С1 (степень опасности – не опасно)**

ЕСЛИ (значение признака ФР=1)

- И (значение признака В>0)
- И (значение признака С=1 ИЛИ С=2 ИЛИ С=4)
- И (значение признака ОПтг>2)
- И (значение признака ВР≥2)
- И (значение признака СН>0)
- И (значение признака ОПвг>0)
- И (значение признака ГП=1 ИЛИ ГП=2)

ТО объект принадлежит к классу **С2**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту:

ЕСЛИ степень влияния фронта работ – 1

- И наличие выработок – >0 (есть выработки)
- И уровень сейсмичности – 1 или 2 или 4
- И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – >2
- И степень влияния взрывных работ – ≥2
- И степень влияния структурных нарушений – >0 (есть влияние)
- И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – >0 (есть влияние)
- И степень влияния типов горных пород в ячейке – 1-2

ТО объект принадлежит к классу **С2 (степень опасности – низкая)**

Таблица 5.

Агрегированная таблица решений для классов 3 и 4

	СН	ГП	ОПтг	ОПвг	В
Y/C3	0 5 5 2 0	0 7 3 0 2	0 0 6 6	1 4 1 4 2	2 0 0 5 5 0
Y/C4	0 6 2 0 0	0 3 1 1 3	0 0 2 6	2 3 1 1 1	2 0 1 3 2 0
d	6	18	4	14	18
	С	ВР	ФР	R/C1	R/C2
Y/C3	0 4 3 4 1	4 0 2 6	2 7 3 0	12	3
Y/C4	0 0 2 4 2	2 1 0 5	0 4 2 0	3	5
d	14	18	18	11	

Сформулированы обобщенные решающие правила для классов 3 и 4 в соответствии с ранжированием признаков (ГП, ФР, ВР, В, ОПвг, С, СН, ОПтг):

ЕСЛИ (значение признака ГП=1,2,4)

- И (значение признака ФР≥0)

- И (значение признака ВР=0,2,3)
- И (значение признака В=0 ИЛИ В=3,4)
- И (значение признака ОПвг>0)
- И (значение признака С=1,2,3)
- И (значение признака СН=1)
- И (значение признака Оптг=2)

ТО объект принадлежит к классу **С3**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту:

ЕСЛИ степень влияния типов горных пород в ячейке – 1,2,4

И степень влияния фронта работ – >0 (есть влияние)

И степень влияния взрывных работ – 0, 2, 3

И наличие выработок – 0, 3, 4

И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – >0 (есть влияние)

И уровень сейсмичности – 1-3

И степень влияния структурных нарушений – 1

И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – 2

ТО объект принадлежит к классу **С3 (степень опасности – средняя)**

ЕСЛИ (значение признака ГП=3)

И (значение признака ФР≥0)

И (значение признака ВР=1)

И (значение признака В=2)

И (значение признака ОПвг=0)

И (значение признака С=4)

И (значение признака СН=2,3)

И (значение признака Оптг=3)

ТО объект принадлежит к классу **С4**

Переформулируем полученное правило на языке, понятном эксперту:

ЕСЛИ степень влияния типов горных пород в ячейке – 3

И степень влияния взрывных работ – 1

И наличие выработок – 2

И степень влияния очистного пространства вышележащего горизонта – 0 (нет влияния)

И уровень сейсмичности – 4

И степень влияния структурных нарушений – 2, 3

И степень влияния очистного пространства текущего горизонта – 3

ТО объект принадлежит к классу **С4 (степень опасности – высокая)**

Отметим, что представленные правила сформулированы в первом приближении с целью определить принципиальную возможность применения предложенного подхода. В дальнейшем будет проведена работа по корректировке правил на основе данных последующих лет (2014, 2015гг и т.д.), после чего, возможно, будет проведено уточнение диапазона значений влияющих факторов, а при необходимости могут быть внесены изменения в число влияющих факторов.

Заключение

Предложено оригинальное представление групп сейсмособытий в виде совокупности мультимножеств. Представление объектов, описываемых количественными и/или качественными признаками и существующих в нескольких версиях (экземплярах), в виде мультимножеств дает возможность не трансформировать качественные признаки в числовые при выполнении процедур кластеризации и использовать методы групповой классификации объектов.

На основе полученных результатов можно оценить степень сейсмической активности в каждом кластере, а значит и в каждой ячейке. Использование метода групповой многокритериальной сортировки объектов, представленных в виде мультимножеств [9], позволило построить несколько обобщенных решающих правил классификации по уровню сейсмической опасности участка массива горных пород.

Применение мультимножеств дает возможность решать традиционные задачи классификации более простым и конструктивным образом. Задача исследования техногенной сейсмичности участков массива горных пород и анализа степени влияния горно-геологических факторов на сейсмоактивность рассматривались как задача групповой сортировки объектов по многим количественным и качественным критериям.

В отличие от широко применяемых в настоящее время технологий на основе нейросетевого подхода, в настоящей работе результатом обучения является не “черный ящик” в виде обученной нейронной сети, а набор правил, которые могут быть легко проинтерпретированы, что повышает доверие конечных пользователей к процедурам принятия решений.

Далее предполагается провести аналогичные исследования для других временных отрезков и рассматривать задачу исследования техногенной сейсмичности участков массива горных пород и анализа степени влияния горно-геологических факторов на сейсмоактивность в динамике.

Литература

1. Зуенко, А.А. Применение методов ограниченной кластеризации для исследования техногенной сейсмичности / А.А. Зуенко, О.В. Фридман, О.Г. Журавлева // Вестник Воронежского государственного университета, Сер.: Системный анализ и информационные технологии. -2019, -№ 3. -С. 29-41.
2. Петровский, А.Б. Методы групповой классификации многопризнаковых объектов (часть1) / А.Б. Петровский // Искусственный интеллект и принятие решений. -2009, -№ 3. -С. 3-14.
3. Doumpos M., Zopounidis C. Multicriteria Decision Aid Classification Methods. European Journal of Operational Research, -2002, -№ 138. -p. 229-246.
4. Furems E. Knowledge-based multi-attribute classification problems structuring. // Computational Intelligence in Decision And Control, Int World Scientific Publisher, -2008, -p. 465-470.
5. Greco S., Matarazzo B., Slowinski R. Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria. // European Journal of Operational Research, 2002, Vol. 138, № 2, p. 247-259.
6. Koksalan M., Ulu C. An interactive approach for placing alternatives in preference classes. // European Journal of Operational Research, 2003, Vol. 144, № 2, p. 429-439.

7. Larichev O.I., Olson D.L. Multiple Criteria Analysis in Strategic Siting Problems. Springer, 2013, 216 p.
8. Hwang C.L., Lin M.J. Group Decision Making under Multiple Criteria. Springer-Verlag, 1987.
9. Петровский, А.Б. Методы групповой классификации многопризнаковых объектов (часть 2) / А.Б. Петровский // Искусственный интеллект и принятие решений. -2009, -№ 4. -С. 3-14.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.003
УДК 004.853

П.А. Ломов¹, М.Л. Малоземова¹

¹ Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

ОБУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ ОНТОЛОГИИ*

Аннотация

В статье рассмотрена одна из подзадач обучения онтологий – задача пополнения онтологии, которая предполагает включение в существующую онтологию новых экземпляров без изменения ее структуры. Представлен краткий обзор существующих подходов к обучению онтологий, а также их реализаций в виде программных средств. Предложена высокоавтоматизированная технология пополнения онтологии с помощью обучения и последующего применения нейросетевой языковой модели для выявления потенциальных экземпляров классов онтологии из текстов предметной области. Рассматриваются основные этапы применения технологии, результаты ее экспериментальной оценки и основные направления дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова:

пополнение онтологии, нейросетевая модель, обучение онтологий.

P.A. Lomov, M.L. Malozemova

¹ Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

TRAINING AND APPLICATION OF NEURAL NETWORK LANGUAGE MODEL FOR ONTOLOGY POPULATION

Abstract

The article considers one of the subtasks of ontology learning - the ontology population, which implies the extension of existing ontology by new instances without changing the ontology structure. A brief overview of existing ontology learning approaches and their software implementations is presented. A highly automated technology for ontology population based on training and application of the neural network language model to identify and extract potential instances of ontology classes from domain texts is proposed. The main stages of its application, as well as the results of its experimental evaluation and the main directions of its further improvement are considered.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-07-00754 А).

Keywords:

ontology population, neural network, ontology learning.

Введение

На сегодняшний день применение онтологий в той или иной форме для представления знаний предметной области в рамках информационных систем стало распространенной практикой. Онтология – это формальная, явная спецификация разделяемой концептуализации [1–3]. Концептуализация – это представление объектов, которые существуют в некоторой предметной области, и взаимосвязей между ними. Разделяемая концептуализация – это концептуализация, которую принимает некоторая группа агентов (люди, организации, информационные системы и т. д.). Формальная спецификация – это описание концептуализации с использованием формального языка, такого как Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL) или Simple Knowledge Organization System (SKOS).

Разработка онтологий, как правило, является сложной проблемой, требующей привлечения экспертов предметной области, а также специалистов по онтологическому моделированию. По этой причине предпринимаются попытки автоматизации ее различных аспектов для снижения затрат труда и времени с получением в результате качественной онтологии, отражающей в необходимой степени знания предметной области. Актуальной является и дальнейшая поддержка существующих онтологий для их повторного применения в информационных системах, ориентированных на адаптацию к изменяющимся требованиям пользователей. Решение данных задач рассматривается в рамках проблемы обучения онтологий (ontology learning).

В данной работе рассматривается решение задачи автоматического пополнения онтологии информационной системы (ontology population) с применением статистического подхода к анализу естественно-языковых текстов. Данная задача является одной из подзадач обучения онтологий. Она заключается в добавлении в онтологию экземпляров классов без какой-либо модификации ее структуры. Для решения данной задачи предлагается технология обучения и применения нейросетевой языковой модели для обнаружения и извлечения потенциальных экземпляров классов онтологии из текстов предметной области.

1. Обзор существующих подходов к обучению онтологий

Обучение онтологии можно рассматривать как реконструирование из текста модели предметной области, изначально сформированной в сознании эксперта – автора текста [4, 5]. Как правило, обучение онтологии предполагает анализ и извлечение из текстов терминов предметной области, их последующую группировку для определения классов онтологии и отношений между ними. В завершении над сформированной системой классов могут быть определены логические ограничения, обнаруженные в текстах.

На сегодняшний день подходы к обучению онтологий отличаются техниками, которые применяются на разных этапах формирования онтологии. Эти техники можно разделить на три типа: лингвистические, статистические и логические [6].

На начальном этапе текстовый корпус предварительно обрабатывается с использованием лингвистических техник, таких как тегирование частей речи (part-of-speech tagging), синтаксический разбор и лемматизация. После этого осуществляется

извлечение терминов предметной области. Для этого используются различные методы обработки естественного языка (NLP), такие как синтаксический анализ, фреймы субкатегоризации (subcategorization frames) и поиск с применением “seed words” [7], а также некоторые статистические методы текстового анализа, такие как выявление терминов, состоящих из нескольких слов, с помощью C-value/NC-value, сравнительный анализ [8], анализ смежности (co-occurrence analysis), латентно-семантический анализ (LSA) и кластеризация [9].

На следующем этапе необходимо сформировать структуру онтологии. Это предполагает выявление таксономических и нетаксономических отношений между найденными на предыдущем этапе терминами. Для этого также используются различные лингвистические и статистические методы обработки текстовой информации, такие как анализ зависимостей (dependency analysis), лексико-синтаксический анализ, категоризация терминов (term subsumption), анализ формальных понятий (formal concept analysis, FCA), иерархическая кластеризация (агломеративная [10] и разделяющая [11]) и анализ правил ассоциации (association rule mining, ARM).

Для формирования логических ограничений или правил на заключительном этапе могут применяться приемы индуктивного логического программирования (inductive logic programming, ILP) [12], позволяющие на основе элементов и отношений полученной онтологии выводить новые отношения в виде гипотез.

Среди известных программных средств, ориентированных на обучение онтологий, можно выделить:

- CRCTOL (Concept-Relation-Concept Tuple-based Ontology Learning) [13]. Данная система производит синтаксический анализ текста с присвоением его лексемам тегов частей речи и синтаксических тегов. Далее для формирования онтологии к нему применяется следующий набор алгоритмов: статистический алгоритм для извлечения ключевых понятий; алгоритм устранения неоднозначности найденных понятий; алгоритм на основе лексико-синтаксических паттернов для извлечения отношений.
- OntoGain [14]. Система для получения онтологий из текста, состоящая из следующих основных модулей: модуль предварительной обработки, выполняющий задачи синтаксического анализа; модуль извлечения понятий предметной области; модуль формирования таксономии обнаруженных понятий; модуль для извлечения нетаксономических отношений на основе ассоциативных правил [15].
- OntoLearn [16]. Система для автоматического формирования онтологии на основе извлеченных из текста понятий предметной области. Понятия извлекаются на основе статистических и NLP-методов [17]. Далее производится поиск определений найденных понятий в тезаурусах и текстах предметной области, их синтаксический анализ с отсевом нерелевантных. На основе результатов анализа определений формируется таксономия понятий.

Предлагаемая в данной работе технология ориентирована на решение одной из подзадач обучения онтологий, а именно пополнение онтологии. Таким образом, для своего применения она требует наличия уже существующей онтологии, с заданной системой понятий и отношений между ними. Технология предполагает использование лингвистических методов (токенизация,

лемматизация, синтаксический анализ) для предобработки текстов и формирования обучающей выборки с последующим обучением и применением нейросетевой языковой модели, ориентированной на решение задачи распознавания именованных сущностей (Named Entity Recognition, NER).

2. Описание предлагаемой технологии пополнения онтологии

Предлагаемая технология предполагает использование существующих в онтологии понятий для обнаружения в текстах предметной области семантически близких к ним новым понятиям. Близость в данном случае следует из употребления понятий в сходных контекстах, которые представляются похожими по структуре предложениями текста.

Для выявления таких предложений, содержащих понятия предметной области, выполняется анализ текстов с помощью языковой модели, основанной на нейронной сети, изначально ориентированной на решении задачи NER. Данная задача состоит в выделении и классификации именованных сущностей в тексте. Именованная сущность – это слово или словосочетание обозначающее объект, который можно отнести к определенной категории. Примерами именованных сущностей являются имена людей, названия организаций и локаций. В предлагаемой технологии роль распознаваемой сущности играет потенциальный экземпляр некоторого класса онтологии. Последний, в свою очередь, рассматривается в качестве назначаемой категории.

Ключевым компонентом технологии является процедура обучения языковой модели на основе обучающей выборки, которая автоматически формируется путем поиска в наборе текстов предметной области предложений, содержащих отдельные лексемы и именные группы, соответствующие экземплярам исходной онтологии. Предполагается, что множество найденных предложений представляет контексты, которые в иных текстах могут содержать новые термины, сходные по смыслу с исходными.

Далее на сформированной выборке обучается языковая модель из распространенной Python-библиотеки для анализа естественно-языковых текстов spaCy. Впоследствии с помощью обученной модели анализируются тексты предметной области с представлением эксперту обнаруженных понятий, которые выступают кандидатами на включение в онтологию в качестве экземпляров классов. Общая схема применения технология представлена на рис. 1.

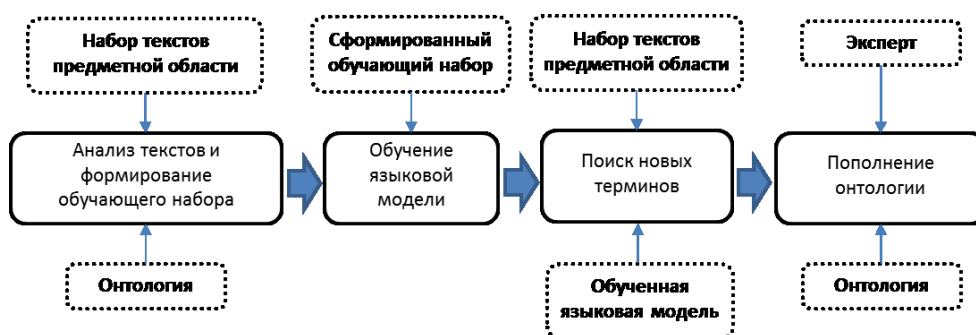


Рис. 1. Схема применения технологии пополнения онтологии

Результативность использования технологии во многом определяется качеством обученной модели, которое, в свою очередь, зависит от объема обучающей выборки, разнообразия представленных в ней образцов, а также корректности присвоенным им меткам. Рассмотрим ее формирование более подробно.

На первом этапе производится формирование тематического набора текстов предметной области, который далее будет использован в качестве источника для получения обучающих примеров. Для решения этой задачи был разработан краулер [18], позволяющий в автоматическом режиме собрать набор документов (файлов в формате PDF, DOC, DOCX, TXT) заданной тематики и сформировать текстовый корпус. Для разработки краулера был взят Python-фреймворк Scrapy, ориентированный на поиск и анализ веб-страниц.

Разработанный краулер позволяет автоматически в фоновом режиме загружать документы, ссылки на которые опубликованы на конкретных веб-страницах, а также выполнять поиск с помощью поисковой системы и загружать документы с найденных веб-страниц. Последняя возможность обеспечивает постоянное фоновое пополнение текстового корпуса. В качестве источника для автоматического формирования поисковых запросов используется понятийная система пополняемой онтологии, что обеспечивает правильную тематическую ориентацию найденных текстов.

Далее производится предобработка текстового корпуса, в ходе которой полученные тексты делятся на предложения и токенизируются. Для этого был разработан комплекс методов на основе Python-библиотеки NLTK, который позволяет получать структурированные данные из текстового корпуса [19].

После предобработки осуществляется непосредственное формирование набора в виде множества обучающих примеров в виде кортежей элементов:

(предложение, левая граница сущности, правая граница сущности, категория сущности). Например:

(“Отправляйтесь в Кировск к подножию Хибинских гор и путешествуйте на снегоходах по труднопроходимым горным районам и красивой тундре”, 16, 23, “CITY”).

Для этого был разработан специализированный программный модуль [20]. Принцип работы модуля состоит в обнаружении лексем, соответствующих именам экземпляров классов онтологии, а также их границ. Основной проблемой в этом случае было обнаружение имен экземпляров, состоящих из нескольких лексем. В предложениях такой набор лексем мог быть представлен частично и/или лексемы могли не следовать друг за другом, как в исходном имени экземпляра, а перемежаться с другими лексемами предложения.

После формирования обучающего набора производится обучение языковой модели. В качестве таковой используется языковая модель на основе сверточной нейросети из Python-библиотеки spaCy. В результате обученную модель можно использовать для обнаружения специфических понятий в текстах предметной области. Найденные таким образом понятия представляются эксперту в качестве кандидатов для пополнения ими онтологии.

3. Оценка эффективности технологии

Эффективность предложенной технологии оценивалась в рамках эксперимента по обучению языковой модели и ее последующего использования

для пополнения онтологии хозяйственной деятельности в Арктике [21]. Классы и экземпляры данной онтологии представляют различные виды промышленной, исследовательской деятельности в Арктике, а также объекты, связанные с ней. Для обучения модели с помощью разработанного краулера было собрано и проанализировано около 400 текстов арктической тематики, которые потенциально могли содержать понятия, представленные в онтологии в виде экземпляров. В результате был сформирован набор, содержащий около 360 000 примеров.

Проверка качества обученной модели производилась на тестовом наборе аналогичной структуры. При его создании использовались тексты предметной области, не использовавшиеся для обучения модели. Их отбор и анализ выполнялись вручную. Таким образом, полученный тестовый набор представляет собой эталонный результат извлечения имеющихся и новых понятий онтологии. В ходе оценки качества модели выполнялось сравнение тестового набора и набора, полученного в результате применения языковой модели, и вычислялись оценки полноты и точности. Для сравнения оценивалась также и мультиязычная (multi-language) модель из библиотеки spaCy, ориентированная на извлечение имен людей, названий локаций и организаций из новостных текстов. Были получены следующие результаты:

Эксперимент 1. Обнаружение моделями понятий тестового набора:

- мультиязычная модель spaCy: точность = 0.13, полнота = 0.03;
- обученная модель: точность = 0.95, полнота = 0.35.

Эксперимент 2. Обнаружения моделями понятий тестового набора, не представленных в онтологии:

- мультиязычная модель spaCy: точность = 0.013, полнота = 0.012;
- обученная модель: точность = 0.25, полнота = 0.006.

Результаты первого эксперимента говорят о наличии некоторого положительного эффекта обучения. Модель научилась распознавать в текстах некоторые контексты употребления понятий, характерных для предметной области. Однако этого недостаточно для обнаружения новых понятий, что показывают результаты второго эксперимента.

Это также может быть вызвано тем, что исходная гипотеза о том, что имена экземпляров одного класса онтологии будут встречаться в одинаковых контекстах, подтверждается в большей степени для классов, потенциально имеющих большое разнообразие экземпляров в анализируемых текстах. Например, классы “Организация” или “Персона” потенциально могут иметь большое количество экземпляров в новостных текстах общей тематики. Таким образом, следует согласовывать специфичность классов пополняемой онтологии и анализируемых текстов. В контексте данного исследования это означает, что необходимо не только увеличить объем корпуса анализируемых текстов, но и обеспечить их более точный поиск и/или дополнительную фильтрацию по принадлежности к тематике пополняемой онтологии.

С другой стороны, причиной малых результатов поиска новых понятий может быть небольшое количество экземпляров у классов, что также не позволяет модели сформировать достаточное разнообразие обобщенных контекстов для обнаружения новых понятий.

Таким образом, исходя из полученных результатов в рамках дальнейшего исследования следует обеспечить увеличение объема обучающего набора и

повысить разнообразие входящих в него образцов. Для этого планируется усовершенствовать работу краулера в отношении сбора информации непосредственно с веб-страниц специализированных сайтов, блогов и форумов. Наряду с этим планируется рассмотреть использование имен отношений, заданных между классами в онтологии, для обнаружения контекстов употребления в текстах экземпляров этих классов. Перспективным также выглядит применение техник аугментации данных (data augmentation) в отношении уже сформированного обучающего набора [22] для его расширения путем генерации дополнительных правильно размеченных образцов на основе имеющихся.

Заключение

Обучение онтологий является многоаспектной проблемой, для решения которой можно применять различные стеки технологий, методов и программных средств в зависимости от постановки задачи обучения (создание онтологии с нуля, расширение структуры существующей онтологии новыми классами и отношениями, пополнение онтологии экземплярами), структурированности исходных данных, требуемой степени автоматизации и качества онтологии, получаемой в результате.

В данной работе предлагается высокоавтоматизированная технология для решения задачи пополнения экземплярами уже существующей онтологии с применением лингвистических и статистических методов анализа естественно-языковых текстов.

Технология предполагает автоматический сбор и формирование набора тематических текстов и их анализ с применением традиционных техник NLP (токенизация, лемматизация, синтаксический анализ) для поиска предложений, которые определяют контексты употребления названий экземпляров из исходной онтологии. На основе отобранных предложений формируется набор примеров для обучения языковой модели на основе сверточной нейронной сети, ориентированной на решение задачи извлечения именованных сущностей. Соответствие исходных текстов и обучающих примеров тематике наполняемой онтологии обосновывается использованием ее элементов – наименований экземпляров и классов при формировании соответствующих наборов. В результате обучения модель обобщает представленные контексты, что позволяет ей находить понятия, употребляемые в сходных контекстах в других текстах предметной области. Предполагается, что некоторые из этих понятий будут представлять новые экземпляры для включения в онтологию.

Экспериментальная проверка предложенной технологии показала положительный эффект в отношении нахождения понятий онтологии в произвольных текстах предметной области. Однако для полноценного ее использования необходимо увеличить количество обучающих примеров и их разнообразие. Это и определяет дальнейшее направление данного исследования.

Предложенная технология может применяться при повторном использовании онтологий для их актуализации и/или приведения их содержания в соответствие с задачами использующих их информационных систем. Высокая автоматизация технологии позволяет при этом снизить трудозатраты экспертов предметной области, обеспечивающих поддержку онтологий, и тем самым удешевить разработку и эксплуатацию информационных систем на основе онтологий.

Литература

1. Studer R., Benjamins V. R., Fensel D. Knowledge engineering: principles and methods. *Data Knowl Eng* 25(1-2):161-197 // *Data Knowl. Eng.* 1998. Т. 25. С. 161–197.
2. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications // *Knowl. Acquis.* 1993. Т. 5. № 2. С. 199–220.
3. Borst W. N., Borst W. N. Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse // 1997.
4. Somodevilla M., Ayala D., Pineda I. An overview on ontology learning tasks // *Comput. Sist.* 2018. Т. 22.
5. Chen J. и др. Smart data integration by goal driven ontology learning, 2017. С. 283–292.
6. Asim M. N. и др. A survey of ontology learning techniques and applications // *Database- Mag. Electron. Database Rev.* 2018. Т. 2018.
7. Hwang C. Incompletely and Imprecisely Speaking : Using Dynamic Ontologies for Representing and Retrieving Information // 1999.
8. Navigli R., Velardi P. Semantic interpretation of terminological strings // 2002.
9. Berkhin P. Survey Of Clustering Data Mining Techniques // *Surv. Clust. Data Min. Tech. Group. Multidimens. Data Recent Adv. Clust.* 2002. Т. 10.
10. Zepeda-Mendoza M. L., Resendis-Antonio O. Hierarchical Agglomerative Clustering // *Encyclopedia of Systems Biology / под ред. W. Dubitzky и др.* New York, NY: Springer, 2013. С. 886–887.
11. Dhillon I. S., Mallela S., Kumar R. A Divisive Information-Theoretic Feature Clustering Algorithm for Text Classification // *J Mach Learn Res.* 2003.
12. Lima R. и др. An Inductive Logic Programming-Based Approach for Ontology Population from the Web. 2013.
13. Jiang X., Tan A.-H. CRCTOL: A semantic-based domain ontology learning system // *J Assoc Inf Sci Technol.* 2010.
14. Drymonas E., Zervanou K., Petrakis E. Unsupervised Ontology Acquisition from Plain Texts: The OntoGain System. 1970. С. 277–287.
15. Srikant R., Agrawal R. Mining generalized association rules // *Future Gener. Comput. Syst.* 1997. Т. 13. № 2. С. 161–180.
16. Navigli R., Velardi P., Gangemi A. Ontology Learning and Its Application to Automated Terminology Translation // *IEEE Intell. Syst.* 2003. Т. 18. № 1. С. 22–31.
17. Navigli R., Velardi P. Learning Domain Ontologies from Document Warehouses and Dedicated Web Sites // *Comput. Linguist.* 2004. Т. 30. № 2. С. 151–179.
18. Lomov P., Malozemova M. Crawler module [Электронный ресурс]. URL: <https://gitlab.com/iimm-dev/tsg/-/tree/rc/crawler>.
19. Lomov P., Malozemova M. Text processing module [Электронный ресурс]. URL: https://gitlab.com/iimm-dev/tsg/-/tree/rc/text_processing/arctic_text_corpus.
20. Lomov P., Malozemova M. Training module [Электронный ресурс]. URL: <https://gitlab.com/iimm-dev/tsg/-/tree/rc/training>.
21. Lomov P. Ontology of integrated knowledge space [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space/blob/master/src/poltes.owl>.
22. Badimala P. и др. A study of various text augmentation techniques for relation classification in free text. 2019. С. 360–367.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.004
УДК 004.94

Е.О. Неупокоева, В.В. Быстров, С.Н. Малыгина

Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

ОБЗОР ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПЛАТФОРМЫ ANYLOGIC CLOUD

Аннотация

Статья посвящена анализу существующих имитационных моделей в области транспортной логистики. Представленный в работе обзор включает в себя краткое описание некоторых моделей, находящихся в открытом доступе на платформе AnyLogic Cloud. Для каждой рассмотренной модели приводятся ее достоинства и недостатки, а также отмечаются возможности использования их компонентов для разработки оригинального полимодельного комплекса транспортно-логистической системы арктического региона.

Ключевые слова:

имитационное моделирование, транспортная логистика, арктический регион

E.O. Neupokoeva, V.V. Bystrov, S.N. Malygina

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

OVERVIEW OF TRANSPORT AND LOGISTICS SIMULATION MODELS OF THE ANYLOGIC CLOUD PLATFORM

Abstract

The article is devoted to the analysis of existing simulation models in the field of transport logistics. The overview presented in this paper includes a brief description of some models that are publicly available on the AnyLogic Cloud platform. For each model considered, its advantages and disadvantages are given, and the possibilities of using their components for the development of an original multi-model complex of the transport and logistics system of the Arctic region are noted.

Keywords:

simulation, transport logistics, Arctic region

Введение

В последние годы вектор социально-экономического развития Мурманской области направлен на модернизацию основных отраслей региональной экономики: рыбопромышленную, горнодобывающую и перерабатывающую, туристическую, а также на расширение транспортной инфраструктуры. Реализуется в данных сферах все больше крупных проектов, поддерживаемых государственными и бизнес структурами. В частности, развиваются туристические объекты и маршруты (например, самый северный ресторан на острове Средний, скелет кита в Териберке, гостиница «Hibiny Camp» [1] и т.п.), в Мурманскую область приходят сетевые магазины и интернет-маркетинг (например, OZON и Wildberris). В горно-химическом кластере наблюдаются тенденции по внедрению технологий цифровых производств (например, в АО «Апатит» проект по созданию цифрового двойника транспортной логистики компании). В рамках национальной стратегии развития Северного Морского Пути

(СМП) активно модернизируется транспортная инфраструктура региона, например, расширяется гражданский порт в г. Мурманск, строится дополнительная железнодорожная ветка к логистическим портовым объектам.

Расширение региональной транспортной сети заставляет решать традиционные логистические задачи, такие как:

- построение маршрута в зависимости от различных критериев (расстояние, оперативность доставки, стоимость и т.д.);
- выбор вида транспорта;
- мониторинг состояния транспортной сети и оперативное управление перевозками.

Для успешного решения поставленных логистических задач используются современные информационные технологии, начиная от моделей отдельных процессов и заканчивая специализированными системами поддержки принятия решений. В рамках данной статьи рассматриваются компьютерные модели, разработанные для информационно-аналитической поддержки принятия решений в сфере логистики.

С точки зрения исследования транспортно-логистических систем разного уровня применяются аналитическое моделирование, которое позволяет получать относительно точные решения в рамках принятых допущений, и имитационное, сводящееся к воспроизведению поведения реально существующей системы и постановке на ней экспериментов.

В современной теории моделирования сложных систем применяются комбинации этих двух подходов. Имитационное моделирование является более предпочтительным с точки зрения исследователя по следующим причинам:

- Не для всех классов исследуемых задач существует аналитическое решение;
- Даже если аналитическое решение существует, оно слишком трудоемко для получения.

Безусловным достоинством имитационного моделирования перед аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационное моделирование позволяет предсказывать поведение системы с учетом допущений и маловероятных событий, ставить на модели многочисленные эксперименты, а также позволяет предоставлять полученные результаты имитации в доступной для человеческого восприятия форме (таблицы, графики, анимированные изображения и т.п.).

Одним из средств имитационного моделирования, зарекомендовавших себя при решении практических задач, является программный продукт AnyLogic. Существенным преимуществом AnyLogic по сравнению с другими средствами имитационного моделирования является возможность разработки сложных моделей на основе интеграции дискретно-событийного, агентного и системно-динамического моделирования. С точки зрения исследования транспортно-логистических систем, данная имитационная среда является предпочтительной ввиду наличия в ней готовых библиотек разнообразных модельных объектов [2]:

- Пешеходная библиотека - инструмент для моделирования пешеходных потоков и анализа поведения толпы (в том числе пешеходов-курьеров);
- Железнодорожная библиотека - позволяет эффективно моделировать

и визуализировать работу железнодорожных узлов и транспортных систем любой сложности и масштаба;

- Библиотека дорожного движения – позволяет моделировать транспортные потоки с учетом индивидуального поведения каждого водителя;
- Библиотека производственных систем – помогает создавать точные модели производственных и складских объектов и управлять материальными потоками на предприятии;
- Библиотека моделирования процессов – осуществляет моделирование любых процессов, которые можно представить в виде последовательности операций.

Совместное использование этих библиотек позволяет создать как простейшую транспортно-логистическую цепочку типа «из пункта А в пункт Б», так и разветвленную сеть транспортных потоков разного масштаба (предприятия, города, региона, мира). Большое количество встроенных модулей и функций позволяет не тратить время на разработку простых решений, а процесс создания модели свести к построению ее из готовых объектов. При этом AnyLogic предоставляет гибкие средства визуализации результатов моделирования. Сложность разрабатываемых моделей ограничиваются только квалификацией разработчика и аппаратными характеристиками вычислительной машины.

Принимая во внимание, что совершенствование транспортно-логистической инфраструктуры Арктической Зоны Российской Федерации является актуальной задачей национального развития, то создание имитационных моделей транспортно-логистических объектов также является востребованным научно-практическим направлением. В рамках данного направления предлагается исследовать возможные сценарии развития транспортной инфраструктуры Мурманской области с помощью компьютерного моделирования. Первым этапом исследования является обзор уже существующих в этой сфере решений. В качестве основного источника информации был выбран открытый портал AnyLogic Cloud, а именно рубрика «Транспорт и логистика». Такой выбор обусловлен тем, что данное облачное хранилище содержит готовые модели, разработанные в AnyLogic, и демонстрирующие разные подходы к решению задач и построению моделей. Кроме запуска моделей в облачном хранилище представляется возможность знакомства с конструктивными особенностями некоторых моделей в режиме разработчика, что невозможно осуществить при анализе большинства открытых публикаций по прикладному имитационному моделированию.

Обзор логистических имитационных моделей

В данном разделе представлена систематизация некоторых имитационных моделей из AnyLogic Cloud по сфере их применения. Отдельные элементы рассмотренных моделей могут использоваться при создании полимодельного комплекса для исследования сценариев развития транспортно-логистической инфраструктуры Мурманской области.

1. Модели железнодорожной логистики

TRAIN UNLOADING

В данной модели, разработанной AnyLogic в качестве демонстрационного примера [3], поезда, состоящие из вагонов с различным содержимым, заходят на небольшую железнодорожную станцию. Дифференциация содержимого вагонов реализована в модели с помощью различной цветовой заливки. При воспроизведении процессов разгрузки использованы следующие объекты: поезд, башенный кран, грузовик, железнодорожный путь, семафор (рис.1). Логика модели сводится к разгрузке вагонов с определенным содержимым (на рисунке обозначено оранжевым и красным цветом) с помощью башенного крана в грузовик. Заполненные грузовики уезжают на стоянку (в правом нижнем углу визуального отображения) При занятом пути разгрузки состав ожидает своей очереди перед семафором.

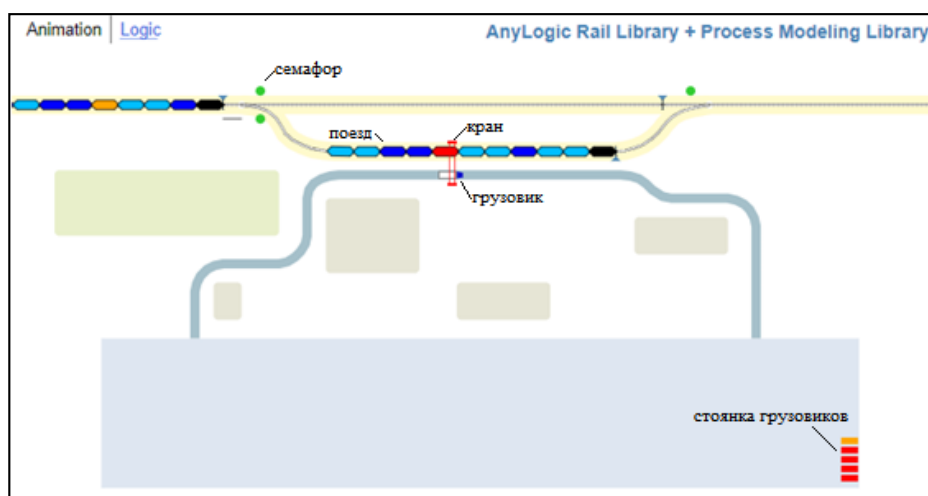


Рис. 1. Модель «Train Unloading»

При разработке модели использованы библиотека Rail, задающая рельсовые пути, стрелочные переводы, вагоны и локомотивы, а также логику работы станции, и библиотека Process Modeling, использованная для имитации работы крана.

Для разработки полимодельного комплекса развития транспортно-логистической инфраструктуры арктического региона целесообразно воспользоваться отдельными элементами данной модели в части воспроизведения процессов погрузки и разгрузки железнодорожного подвижного состава.

TRAINS

Рассматриваемая модель (разработчик Brian Ovgum) является наглядным примером сложной железнодорожной сети [4]. Функционирование железнодорожной сети представлено на объемном многоярусном острове, пронизанном двумя железнодорожными ветками, по которым постоянно в замкнутом цикле передвигаются поезда трех видов (рис. 2). Количество поездов

каждого вида регулируется пользователем, их количество может достигать до четырех.

Разработчик модели сместил акцент при разработке на визуализацию функционирования железнодорожной сети в реальном времени, а не на решение классических задач имитационного моделирования (прогнозирование, анализ возможных сценариев и т.п.).

Визуальное представление модели выполнено на высоком уровне с применением 3D графики, а также уделению значительного внимания мелким деталям воспроизводимой системы. В частности, в данной модели реализованы следующие особенности:

- **Многоярусность.** Железнодорожные пути проложены не на плоскости, а в трехмерном пространстве – они поднимаются и опускаются под углом к плоскости, заходят в туннели, имитируя перемещение по неровному ландшафту, приближая движения моделируемого объекта к реальности;
- **Увеличение точек обзора.** В отличие от большинства моделей здесь используется 8 камер, что позволяет рассматривать данный остров с разных ракурсов или осуществлять движение по острову в режиме свободной камеры
- **Работа с источниками света.** В модели задействованы динамические источники света, такие как фары движущегося поезда, что добавляет модели наглядности и реалистичности.
- **Детализация окружающей среды.** Так как акцент модели смещен на 3D-визуализацию функционирования транспортной сети, то разработчик внес множество мелких деталей, не имеющих отношения к движению поездов, но добавляющих реалистичности (фигурки деревьев, животных и т.п.)

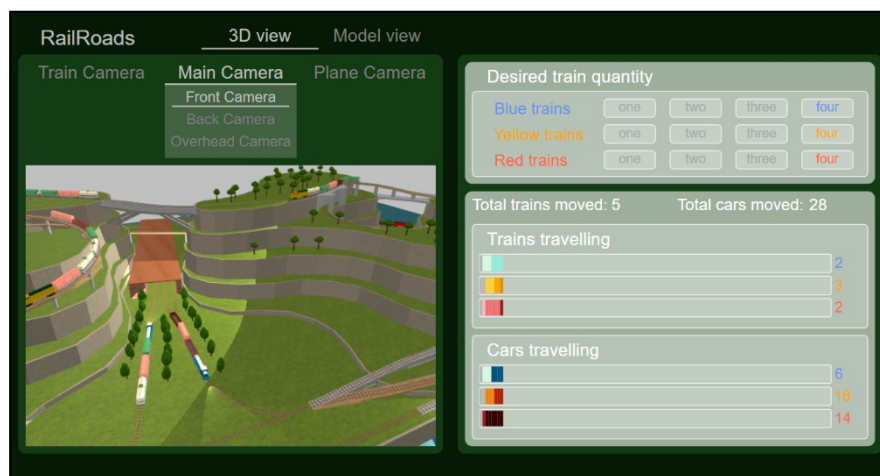


Рис. 2. Модель многоярусной транспортной сети «Trains»

Для разработки полимодельного комплекса развития транспортно-логистической инфраструктуры арктического региона можно использовать такие компоненты рассмотренной модели, как многоярусность, имитация вертикальных и горизонтальных транспортных процессов, 3D-визуализация результатов моделирования.

AIRPORT SHUTTLE TRAIN

Модель от Dimitrij Marek [5] показывает работу пассажирского трансфера с помощью железнодорожного сообщения в аэропорт (рис.3). Она является примером использования систем массового обслуживания, модифицированных специальными модельными объектами транспортной и пешеходной библиотек AnyLogic. Воспроизводимая моделью логика довольно проста и заключается в имитации посадки пассажиров в вагон, движению вагона между двумя пунктами назначения и высадке пассажиров в конечной точке маршрута. Данный процесс перемещения пассажиров зациклен во времени.

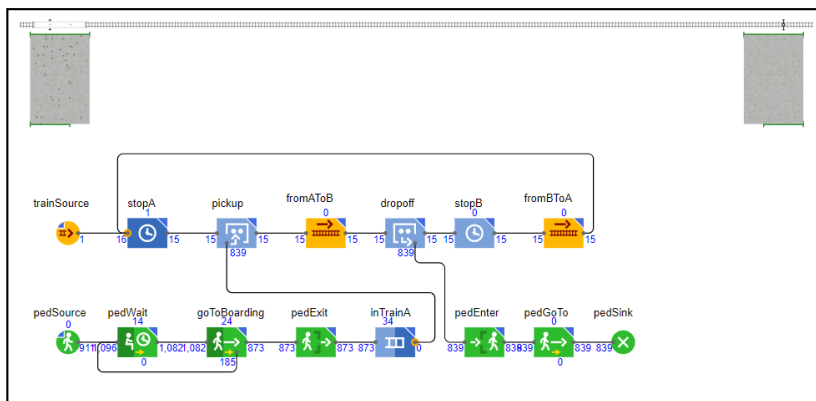


Рис. 3. Модель пассажирского трансфера «Airport Shuttle Train»

Для исследования транспортно-логистических потоков арктического региона из рассмотренной модели можно позаимствовать реализацию механизмов взаимодействия агентов двух типов: пассажиров и транспортных средств.

2. Модели автомобильной логистики

LAST MILE ROUTE PLANNING

Модель от TUB Logistik [6] это учебная модель для планирования маршрута доставки последней мили автомобильным транспортом. Программный продукт описывает варианты маршрутов объезда пунктов доставки для поставщика логистических услуг в Берлине (рис. 4). Модель позволяет задать направление движения (с востока на запад, с севера на юг и т.п.), учитывать время простоя и временные режимы работы пунктов доставки. Транспорт, развозящий посылки, начинает свое движение со склада к пунктам доставки, объезжает их поочередно в соответствии с выбранным маршрутом и возвращается на склад. В модели учитывается дневной и ночной режим работы службы доставки, что отображается в визуальном представлении яркостью изображения.

К достоинствам модели можно отнести выбор направления движения по маршруту, реализацию смены дня и ночи, выбор времени начала работы и прогнозирование времени доставки в зависимости от выбранного маршрута (из пяти фиксированных маршрутов).

В качестве недостатков можно указать невозможность самостоятельного составления маршрута доставки по выбранным пунктам, а так же варьировать окончание времени работы пунктов доставки.

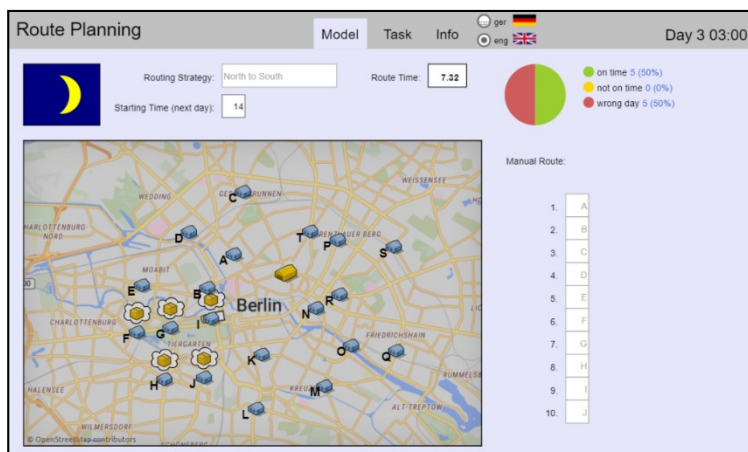


Рис. 4. Модель доставки последней мили «Last Mile Route Planning»

С точки зрения моделирования региональных транспортных потоков целесообразно использовать отдельные компоненты представленной имитационной модели для воспроизведения работы курьерской службы в городской среде. Это необходимо для прогнозирования загруженности городской дорожной инфраструктуры, которая сказывается на качестве решения прикладных логистических задач.

3. Модели производственной и складской логистики *PROIZVODSTVO*

Данная модель, разработанная А Golodushkin, отражает полный цикл производства паллет, от строгания досок до получения покупателем конечного продукта [7]. Модель выделяется подходом автора к визуализации отдельных циклов производства (рис.5).

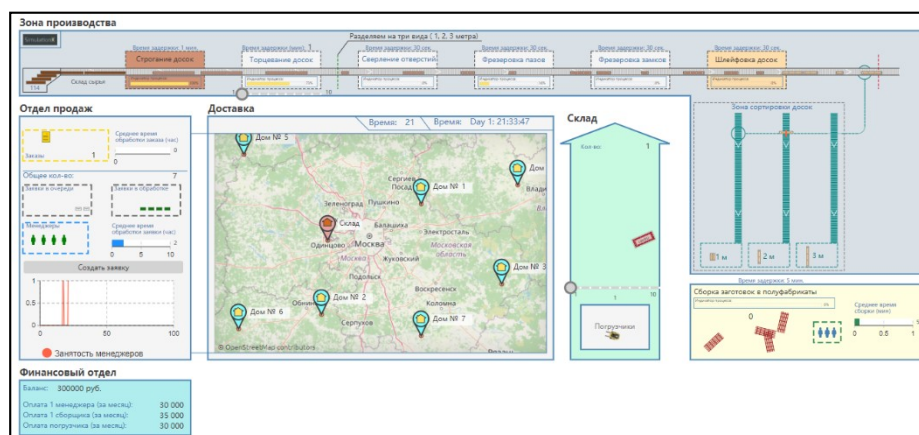


Рис. 5. Модель производства паллет «Proizvodstvo»

Графический интерфейс представленной модели позволяет проследить все технологические этапы обработки древесных изделий, а именно последовательное выполнение обработки, распила и сверления пазов, сортировки, сборки, перемещения на склад и поставки готовых изделий клиентам. Предоставлена возможность изменения входных параметров в процессе функционирования модели (количество погрузчиков, скорость торцевания досок и т.п.).

К явным недостаткам представленной модели можно отнести логическую ошибку в общем алгоритме модели, которая заключается в том, что при завершении всех технологических процессов добавление новой заявки на производство продукции невозможно.

JOB SHOP

В качестве примера складской логистики предлагается рассмотреть модель от Dimitrij Marek [8]. Она является дискретно-событийной и оперирует следующими модельными объектами: грузовик, погрузчики, станки, двухъярусный склад, заготовки, готовая продукция (рис.6). Алгоритм модели представляет собой типичную систему массового обслуживания, в рамках которой имитируются процессы производства, хранения и транспортировки сырья и продукции небольшой мастерской.

К достоинствам модели можно отнести: простую и понятную структурную схему, 3D-анимацию производственных процессов. В свою очередь, в качестве недостатков можно выделить:

- отсутствие элементов управления, позволяющих задавать параметры модели;
- неудачная визуализация отдельных этапов производственного процесса, заключающаяся в отсутствии информативных элементов, указывающих на длительность выполняющихся операций;
- отсутствие возможности навигации на визуальном представлении не позволяет пользователю увидеть весь функционал модели.

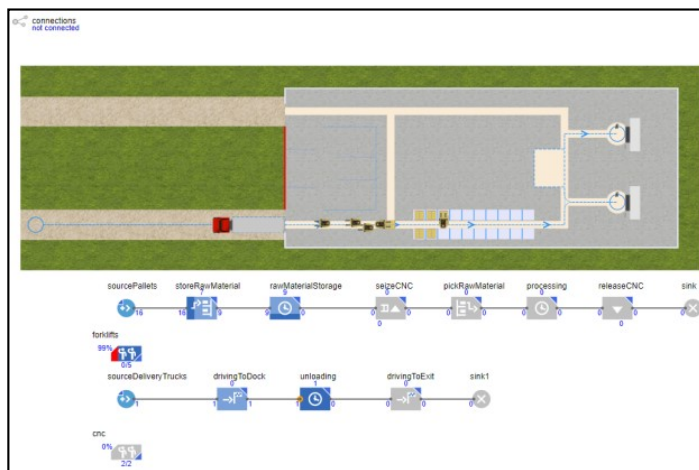


Рис. 6. Модель складской логистики «Job Shop»

Для создания полимодельного комплекса исследования транспортно-логистических систем арктического региона можно перенять особенности компьютерной реализации технологических процессов с целью интеграции объектов производственной, складской и транспортной логистики. Такая интеграция позволила бы повысить адекватность построения моделей транспортно-логистических цепочек за счет учета специфики конкретных производств и организации складского хранения.

4. Логистика курьерской службы *Optimization tool for courier delivery*

Имитационная модель от разработчиков SimulationX [9] является наглядным примером решения задачи оптимизации доставки курьером продукции со склада до конечного потребителя (рис.7). В основе модели положен агентный подход, который позволяет курьеров и объекты общественной транспортной сети представить в виде активных сущностей, обладающих собственным поведением. Это позволяет при построении оптимального маршрута осуществлять выбор необходимых агентов по их характеристикам, которые будут принимать участие в маршруте. Особенностью модели является возможность определения оптимального количества курьеров и их персональных маршрутов доставки. В алгоритме оптимизации количества курьеров учитываются следующие параметры: ограничение по весу и по времени (в каждом пункте доставки курьер должен быть к определенному времени). Акцент сделан на перемещении курьеров с помощью московского метрополитена, а остальной общественный транспорт является дополнительным средством доставки (в том числе и пешком).

К достоинствам модели можно отнести:

- инициализация модели с помощью загрузки внешнего файла (название заказа, координаты доставки, вес и время);
- использование инструментов AnyLogic для работы с ГИС для построения маршрутов;
- настраиваемая визуализация маршрутов.

В качестве недостатков можно указать отсутствие возможности выгрузить информацию о построенном маршруте курьера во внешний файл, текущая версия алгоритма распределения заказов между курьерами не всегда работает корректно (возможны ситуации неравномерного распределения заказов).

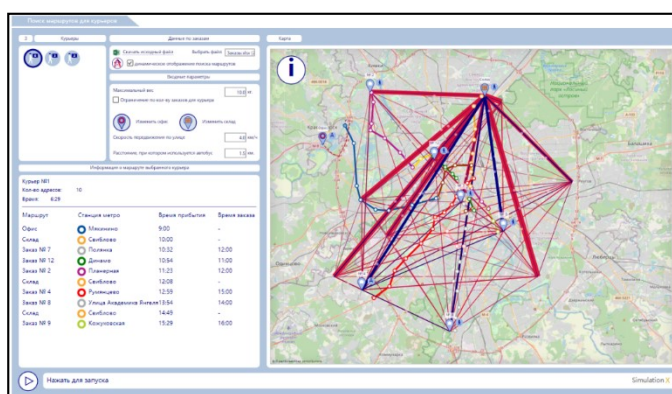


Рис. 7. Модель оптимизации курьерской доставки «Optimization tool for courier deliver»

В рамках исследования функционирования транспортно-логистических систем арктического региона рассмотренная модель может быть использована в качестве примера решения оптимизационных логистических задач с учетом модальности грузоперевозок.

5. Вспомогательные модели логистики

TransSec V2P Evacuation Demo

Имитационная модель, созданная William Han, является примером исследования процессов оповещения о критической ситуации всех участников движения с помощью специального мобильного приложения. В модели в качестве критической ситуации рассматривается сценарий совершения террористического акта в городской среде [10]. В качестве модельного объекта, несущего угрозу обществу, рассматривается грузовик со взрывчатым веществом, передвигающийся по улицам города Уотерфорд, Ирландия, а в качестве потенциальных жертв – пешеходы (рис.8). Модель разработана на основе совместного использования агентного и дискретно-событийного моделирования и оперирует двумя зонами охвата: зона поражения от грузовика и зона оповещения пешеходов. Модель позволяет взглянуть в целом на развитие критической ситуации и действия населения в условиях его оповещения. Основным параметром модели является время начала движения грузовика, которое влияет на первоначальное количество людей в зонах поражения и оповещения. Каждый пешеход, находящийся в зоне оповещения, получает от радиовышки информацию о ближайшем выходе из зоны и выстраивает свой маршрут с целью достижения данного выхода. Кроме того, реализована передача сообщения об опасности между пешеходами: те, кто уже получил оповещение, при сближении передают информацию тем, кто еще не успел получить сигнал.



Рис. 8. Модель эвакуации населения «TransSec V2P Evacuation Demo»

Недостатками рассматриваемой модели являются:

- в модели заложен только один сценарий развития критической ситуации, характеризующийся фиксированным маршрутом движения опасного автотранспортного средства;

- количество точек выходов для движения пешеходов ограничено, что обусловлено локализацией моделируемого сценария;
- пешеходы мгновенно реагируют на сигнал, что не совпадает с реальными условиями развития критической ситуации.

К достоинствам модели можно отнести возможность исследования степени эффективности оповещения в зависимости от массовости скопления людей в зонах.

В рамках исследований функционирования транспортно-логистических сетей арктического региона данная модель может рассматриваться как пример решения вспомогательных задач, таких как оповещение участников движения об аварийных ситуациях на различных объектах транспортной инфраструктуры с целью возможности изменения маршрута.

Заключение

Авторы данной статьи провели систематизацию информации о существующих имитационных моделях из открытых источников с позиции их применимости для решения задач транспортной логистики. В результате работы было детально рассмотрено порядка пятидесяти имитационных моделей, представленных на облачной платформе AnyLogic Cloud. В статье приводится краткое описание некоторых проанализированных моделей, компоненты которых могут быть использованы при создании полимодельного комплекса транспортно-логистической системы арктического региона.

Разработка компьютерных моделей для информационно-аналитической поддержки принятия решений в логистических задачах является актуальной и востребованной на рынке программных информационно-управляющих систем. Совершенствование такого модельного инструментария обусловлено активной реализацией крупномасштабных проектов, направленных на развитие национальной транспортно-логистической инфраструктуры АЗРФ, в частности Северного морского пути.

Работа выполнена в рамках реализации темы НИР № 0226-2019-0035 «Модели и методы конфигурирования адаптивных многоуровневых сетевых систем управления региональной безопасностью в Арктической зоне Российской Федерации» государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Литература

1. В Мурманской области с помощью федеральных грантов будут созданы новые туристические объекты. – Режим доступа: <https://www.mvestnik.ru/news/ent/v-murmanskoj-oblasti-s-pomowyu-federalnyh-grantov-budut-sozdany-novye-turisticheskie-obekty/> (дата обращения: 27.11.2020)
2. AnyLogic Process Modeling Library. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/resources/libraries/process-modeling-library/> (дата обращения: 27.11.2020)
3. Модель «Train Unloading». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/5410ba24-7f21-4948-92c4-37bd1461a02d?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
4. Модель «Trains». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/648997b4-4c2c-4211-9e32-d7a9c9c3934?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)

5. Модель «Airport Shuttle Train». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/5fb2edc9-3878-44f3-9a3f-b99812797e38?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
6. Модель «Last Mile Route Planning» – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/1c14ff15-2c2f-4bcd-a51d-a0d584cc56a8?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
7. Модель «Proizvodstvo». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/b8b075bc-5e71-4c14-a576-2627a889a1bf?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
8. Модель «Job Shop». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/3e111e95-aa2e-4e88-9627-63811c8270d3?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
9. Модель «Optimization tool for courier delivery. – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/56eca5f5-aace-4a75-a0d2-2c1075f323aa?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020)
10. Модель «TransSec V2P Evacuation Demo». – Режим доступа: <https://cloud.anylogic.com/model/41754ae9-0c08-4951-b856-180bc8175784?mode=SETTINGS> (дата обращения: 27.11.2020).

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.005
УДК 004.942, 62-97/-98

А.Г. Олейник¹, В.В. Бирюков², Р.М. Никитин²

¹ *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН*

² *Горный институт ФИЦ КНЦ РАН*

ФОРМАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО СЫРЬЯ*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00359-а.

Аннотация

В статье предложен вариант формального решения задачи определения методов и аппаратов для синтеза технологических схем обогащения минеральных полезных ископаемых. Решение основывается на сравнительном анализе свойств перерабатываемого сырья и характеристик разделительного оборудования. При этом учитывается зависимость свойств и характеристик от крупности частиц перерабатываемого массопотока. Рассмотрены варианты решения для случаев обогащения простых и комплексных руд. Приведены необходимые сведения из области обогащения минерального сырья. Подчеркнута актуальность повышения эффективности природно-промышленных комплексов, осуществляющих добычу и переработку минерально-сырьевых ресурсов, в Арктической зоне Российской Федерации.

Ключевые слова:

синтез технологической схемы, обогащение руд, обогатительное оборудование, нормировка свойств, сравнительный анализ, постоянные и динамические ограничения.

A.G. Oleynik¹, V.V. Birukov², R.M. Nikitin²

¹ *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

² *Apatity, Mining Institute, KSC RAS*

FORMAL DEFINITION OF THE CONCENTRATION FLOWSHEET ELEMENTS BASED ON THE ANALYSIS OF THE PROCESSING RAW MATERIALS PROPERTIES

Abstract

A variant of a formal solution to the problem of determining methods and apparatus for the synthesis of mineral processing flowsheets is offered in the article. The solution is based on a comparative analysis of the processed raw materials properties and the separation equipment characteristics. The dependence of properties and characteristics on the particle size of the processed mass flow is taken into account. Solutions for the cases of simple and complex ore concentration are considered. The necessary information from the field of mineral processing is presented. The urgency of improving the efficiency of natural and industrial complexes engaged in the extraction and processing of mineral resources in the Arctic zone of the Russian Federation is emphasized.

Keywords:

flowsheet synthesis, ore dressing, concentration apparatus, normalization of properties, comparative analysis, constant and dynamic constraints

Введение

Добыча и переработка минеральных полезных ископаемых остается одной из важнейших отраслей экономики России. В работе [1] регионы, в которых доминирующим в структуре экономики является минерально-сырьевой сектор, относятся к регионам ресурсного типа (ресурсные регионы). Авторы [1] указывают, что такие регионы «испытывают на себе влияние и всех основных особенностей неустойчивого развития минерально-сырьевого сектора:

- подверженность влиянию изменений цен на первичные ресурсы и продукты их первичной переработки;
- сильную зависимость изменений структуры хозяйства от технологических изменений в ресурсодобывающих отраслях (или в отраслях, связанных с производством продуктов-заменителей);
- сильную зависимость от изменения государственной политики в ресурсодобывающей промышленности.

Для ресурсных регионов и территорий Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) риски неустойчивости функционирования и развития минерально-сырьевого сектора усугубляются негативными природно-географическими факторами. Поэтому для таких регионов повышение эффективности природно-промышленных комплексов, осуществляющих добычу и переработку минерально-сырьевых ресурсов, является наиболее актуальным.

Как правило в пределах ресурсного региона реализуется два этапа производства минерального сырья – собственно добыча руды и ее первичная переработка с целью получения продуктов, пригодных к последующему хозяйственному использованию [2]. Целью первичной переработки руд является их разделение на продукты, в которых преимущественно концентрируются

полезные компоненты (концентраты – concentrates), и отвальный продукт с минимальным содержанием полезных компонентов (хвосты – tails). Реализацию процессов и методов концентрации полезных минералов при первичной переработке руд называют обогащением полезных ископаемых [2]

1. Инструменты информационной поддержки процессов добычи и переработки минерального сырья

Для поиска и реализации решений по повышению эффективности каждого из этих этапов в настоящее время активно используются цифровые технологии, среди которых важное место занимает компьютерное моделирование. В частности, результаты исследований и практического применения цифровых технологий и компьютерного моделирования в горнодобывающей отрасли были широко представлены в докладах Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», проведенной в Горном институте КНЦ РАН в 2019 году [3]. Примерами компьютерных систем поддержки этапа добычи являются разработанная в Австралии горно-геологическая информационная система Micromine [4] и система автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ MINEFRAME, разработанная в Горном институте КНЦ РАН [5]. Существует ряд компьютерных систем, ориентированных на решение задач в области совершенствования процессов первичной переработки минерального сырья. Среди них можно отметить разработки JKTech (пакет JKSimMet для моделирование схем измельчения и классификации и пакет JKSimFloat позволяющий моделировать установившиеся режимы работы флотационных установок [6], а также пакет MODSIM (MODular SIMulator for mineral processing plants), разработанный Mineral Technologies, Inc [7]. Мощным инструментом для детального моделирования процессов, происходящих в разделительных аппаратах с жидкой фазой, является вычислительная гидродинамика (CFD - Computational fluid dynamics), реализуемая пакетом ANSYS CFD [8]. Также для моделирования процессов и аппаратов обогатительных производств используется пакет COMSOL Multiphysics [9] (бывший Femlab). Некоторые из указанных инструментов моделирования были использованы в своих исследованиях и авторами настоящей работы [10, 11].

Современные программные пакеты, используемые при моделировании обогатительных процессов и технологических схем обогащения, предоставляют широкий выбор инструментов, как для «визуального» построения моделей, так и для проведения сложных расчетов. Однако само построение модели эффективной технологической схемы обогащения остается функцией исследователя. Некоторые результаты исследований, направленных на решение задачи автоматизации синтеза схем обогатительных процессов, были представлены авторами в работах [12, 13].

С 2019 совместно сотрудниками ИИММ и ГоИ КНЦ РАН ведется разработка информационной технологии структурного синтеза эффективных схем многостадийных технологических процессов, характеризующихся наличием разнородных ограничений как на сочетаемость реализующего процесс оборудования, так и на показатели эффективности [14, 15]. С учетом имеющегося у разработчиков опыта в качестве «тестового объекта» синтеза выбрана технологическая схема процесса обогащения минеральных полезных ископаемых.

2. Некоторые необходимые сведения об обогащении руд

Направляемая на переработку руда (минеральное сырье) характеризуется, в первую очередь, минеральным составом, фракционной структурой, а также рядом других физических и физико-химических свойств, которые необходимо учитывать и, возможно, использовать при реализации процесса обогащения. Для каждого принимаемого в рассмотрение свойства ξ_i определяется минимальное и максимальное значение, а полученный интервал $[\xi_{i \min}; \xi_{i \max}]$ разделяется на подинтервалы, определяющие фракции по данному свойству. Согласно [16] необходимыми и достаточными для охарактеризования минерального состава материала являются две функции $\mathcal{N}(\xi_i)$ и $\beta_k(\xi_i)$, где ξ_i - некоторое свойство, $\mathcal{N}(\xi_i)$ – функция распределения массы частиц материала по интервалам значения свойства (фракциям), а $\beta_k(\xi_i)$ – функция содержания k -го компонента во фракциях по свойству ξ_i . Простейшим с точки зрения обогащения вариантом минерального сырья является руда, в которой имеется только один ценный компонент и его частицы существенно отличаются от вмещающей породы только одним свойством. Наиболее сложным вариантом являются комплексные (сложные по составу) руды, в которых присутствуют и могут быть извлечены с экономической выгодой несколько полезных компонентов (многокомпонентное сырье). При обогащении комплексных руд, как правило, необходимо учитывать и, возможно, использовать для разделения компонентов их различия по нескольким свойствам.

Наиболее распространенным при исследованиях, связанных с анализом и использованием структуры минерального состава перерабатываемых руд, в том числе и при моделировании обогатительных процессов и аппаратов, является рассмотрение фракционной структуры материала по крупности d образующих его частиц. Это обусловлено тем, что крупность частиц перерабатываемой массы материала в основном определяется результатами процедур дробления и измельчения исходного сырья. А другие физические и физико-химические свойства этих частиц зависят от содержания в них различных компонентов руды. Фракционный состав однокомпонентного сырья в этом случае может быть описан двумерной таблицей $\gamma_{ij}(\beta \times d)$, в ячейках которой содержатся массовые доли γ_{ij} фракций крупностью d_j с содержанием полезного компонента в диапазоне β_i . Такая таблица и ее графическое представление показано, в частности, в работе [15]. Многокомпонентное сырье будет описываться набором подобных таблиц, каждая из которых соответствует отдельному полезному компоненту β_k , входящему в состав руды.

При выборе метода разделения компонентов руды ориентируются на их наиболее контрастные свойства. Как отмечали авторы в [12], набор используемых «разделительных» свойств ограничен. В разделительных аппаратах (сепараторах) осуществляется воздействие соответствующими силами на частицы перерабатываемой массы сырья, имеющие существенно различные значения определенного свойства. Это позволяет разделить входной массопоток на несколько выходных массопотоков, формируемых частицами с близкими значениями используемого «разделительного» свойства. Способность сепаратора осуществлять выделение частиц в продукт C по свойству ξ описывается с помощью непрерывной функции $\varepsilon_C(\xi)$, показывающей зависимость извлечения элементарных фракций по данному свойству в продукт C . Значение $\varepsilon_C(\xi)$ изменяется в диапазоне $[0; 1]$, где «0» соответствует фракциям не извлекаемым в

продукт C , а «1» – фракциям полностью извлекаемым в этот продукт. Данная функция носит название сепарационной характеристики или разделительной функции [16]. Идеальная сепарационная характеристика имеет ступенчатый вид, где на оси ξ имеется «граница разделения» – точка ξ_p , в которой происходит скачкообразное изменение функции $\varepsilon_C(\xi)$ от 0 к 1. Реальные сепарационные характеристики разделительных аппаратов имеют вид кривой, на которой граница разделения ξ_p соответствует элементарной фракции, которая наполовину извлекается в продукт C (как правило – концентрат) [16]. С практической точки зрения пофракционные сепарационные характеристики отражают вероятность извлечения частиц фракции $\gamma_{i,j}$ в один из продуктов сепаратора в зависимости от величины используемого разделительного свойства, которая, в свою очередь, зависит от содержания в этих частицах определенных минеральных компонентов. Следовательно пофракционные сепарационные характеристики сепаратора относительно конкретного минерального компонента можно также представить двумерной таблицей $\varepsilon_{ij}(\beta \times d)$.

В ряде своих предыдущих исследований авторы рассматривали задачи совершенствования существующих и разработки новых аппаратов для обогащительных производств [10, 11, 17, 18]. Однако решение задачи автоматизированного формирования вариантов эффективных технологических схем для реального производства основывается на использовании существующих аппаратов. В ходе решения необходимо выбрать подходящие для реализации производственного процесса аппараты и скомпоновать их в технологическую схему, удовлетворяющую заданным условиям эффективности. Для автоматизации процедур выбора необходимо иметь базы данных как об обогащительных свойствах объектов переработки – рудах, так и о существующем оборудовании, которое может быть использовано для синтеза технологических схем обогащения руд. В работе [15] авторами дана краткая характеристика данных, которые должны содержаться в этих базах.

3. Основные операции процесса обогащения

В общем случае процесс обогащения включает два основных типа операций. Первый – уменьшение крупности частиц в перерабатываемом массопотоке. Второй – разделение входного массопотока операции по определенным критериям на несколько выходных массопотоков.

Целью операций уменьшения крупности (дробление и измельчение) является дезинтеграция входящих в руду минералов, обеспечивающая «высвобождение» зерен ценных компонентов из вмещающей породы. При выборе аппаратов и режимов дезинтеграции необходимо учитывать два важных аспекта. Первый – энергоемкость операций уменьшения крупности [19, 20] и, как следствие, их высокая стоимость. Второй, обусловленный разными размерами зерен полезных минералов в перерабатываемой массе, – определение эффективного баланса между «высвобождением» полезных минералов и их переизмельчением (разрушение высвобожденных частиц полезных минералов). Кроме затрат на избыточное измельчение, переизмельчение приводит к снижению контрастности разделительных свойств.

После измельчения, как правило, выполняется операция классификации – разделение перерабатываемого массопотока на потоки, включающие частицы

разной крупности. В качестве критерия разделение выступает максимальный размер зерен полезного компонента. Выходной массопоток классификации, в котором размер частиц превышает размер зерен полезного компонента, состоит из сростков (частиц, которые могут включать как полезные компоненты, так и «вмещающий» материал, не являющийся целевым продуктом данного процесса обогащения). Данный массопоток требует дополнительного измельчения. Второй выход классификации включает более мелкие частицы. Они могут представлять собой высвобожденные частицы полезного минерала, чистый «вмещающий» материал или сростки. Этот массопоток уже может быть подвергнут сепарации на основе контрастных свойств полезного и «вмещающего» компонентов с выделением концентрата и/или хвостов. При наличии сростков в операции сепарации также выделяется промежуточный продукт (промпродукт), требующий дополнительного измельчения.

Учитывая изложенное выше, целесообразно формировать технологические схемы, путем объединения последовательных стадий (этапов) измельчения и сепарации [14]. При таком подходе обеспечивается поэтапное уменьшение крупности частиц с высвобождением полезных минералов из перерабатываемого сырья. Тогда на каждой стадии входной массопоток можно уменьшать за счет вывода из него в концентрат и/или хвосты частиц, пригодных к разделению. Оставшиеся в потоке сростки передаются на следующую стадию, где происходит дальнейший «шаг» измельчения с последующей сепарацией. Следует отметить, что при поэтапном уменьшении крупности и выводе из процесса части перерабатываемого массопотока, происходит увеличение массовых долей γ_{ij} тонких фракций в ячейках таблицы $\beta \times d$. В результате этого может потребоваться изменение метода разделения и, как следствие, использование других типов сепараторов.

4. Выбор аппаратов для двухкомпонентной сепарации

Этапы синтеза стадии схемы обогащения при двухкомпонентной сепарации соответствуют представленным авторами в работе [15]. В результате анализа таблицы фракционной структуры массопотока после дезинтеграции $\gamma_{ij}(\beta \times d)$ определяется наличие в нем раскрытых (доступных к сепарации) фракций частиц. Критерием возможности (целесообразности) проведения сепарации являются значительные массовые доли частиц в областях таблицы «хвосты» и/или «концентрат», показанных на рис. 1.

Между этими зонами могут располагаться, частицы, представляющие собой сростки, содержащие ценный компонент в недостаточном для концентрата количестве ($\beta < \beta_{c_{min}}$). Однако наличие ценного компонента ($\beta > \beta_{t_{max}}$) не позволяет вывести их из процесса переработки как хвосты. Поэтому такие частицы считаются промпродуктом, и их, как правило, подвергают дальнейшему измельчению с целью высвобождения содержащихся в них полезных минералов.

Выбор подходящих для использования в технологической схеме сепараторов осуществляется на основе сопоставления фракционной структуры подлежащего переработке массопотока и пофракционных сепарационных характеристик существующих сепараторов, реализующих метод разделения по наиболее контрастному свойству ξ_p для данного сырья. Наиболее контрастным можно считать свойство, для которого разница значений ξ_p чистого полезного

минерала ξ_p^m и вмещающих его компонентов ξ_p^h является максимальной. При этом необходимо учитывать, что и контрастность свойств, и сепарационные характеристики зависят от размеров подлежащих сепарации частиц d . Следовательно сопоставительный анализ $\gamma_{ij}(\beta \times d)$ и $\varepsilon_{ij}(\beta \times d)$ необходимо проводить после каждого этапа измельчения для выбора аппарата и режима классификации, и после классификации для направляемого на сепарацию массопотока.

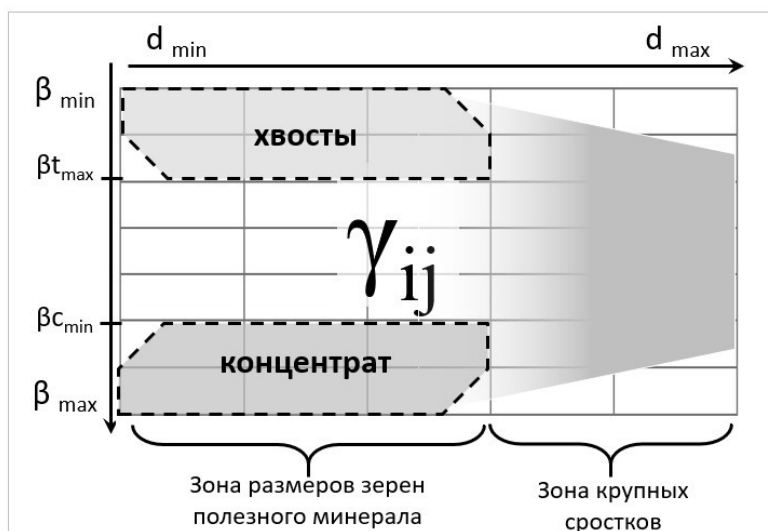


Рис. 1. Зоны максимумов массовых долей фракций γ_{ij} , определяющие целесообразность сепарации

5. Определение аппаратов при обогащении комплексных руд

В результате обогащения комплексных руд необходимо получить концентраты нескольких минералов, отличающихся своими свойствами. Следовательно для характеристики руды ее необходимо рассматривать не как комбинацию полезного и «вмещающего» компонентов, а как набор из $N+1$ компонентов, где N – количество подлежащих извлечению полезных компонентов, а 1 – общие характеристики остальных «вмещающих» компонентов, образующих хвосты данного процесса обогащения.

Как уже было отмечено выше, любой сепарационный аппарат может разделять входной массопоток на два или три (концентрат, хвосты и промпродукт) выходных массопотока, образуемых частицами, различающимися значением разделительного свойства ξ_p . При извлечении определенного концентрата с использованием свойства ξ_p^c все остальные компоненты руды будут относиться к «вмещающим» и характеризоваться одним общим значением свойства ξ_p^h . Следовательно, при формировании технологической схемы обогащения комплексной руды необходимо определить, в каком порядке наиболее рационально выделять из нее полезные компоненты. Вариантом решения этой задачи может быть сравнение относительных контрастностей свойств подлежащих извлечению минералов.

Исходными данными является таблица, содержащая значения свойств образующих руду компонентов. Учитывая нежелательность переизмельчения зерен ценных минералов, изначально рассматриваются свойства, соответствующие крупности зерен каждого минерала близкой к максимальной. Таблица содержит M строк и $N+1$ столбец, где M – общее количество принимаемых к рассмотрению свойств ($|\{\xi_i\}| = M$), а N – число подлежащих извлечению полезных компонентов. На основе исходной таблицы формируется таблица относительной контрастности свойств для каждого из $N+1$ компонентов.

Относительная контрастность свойства определяется путем нормирования каждой строки по формуле:

$$\xi'_{ij} = \frac{\xi_{ij} - \xi_{imin}}{\xi_{imax} - \xi_{imin}},$$

где: ξ'_{ij} – нормированное значение i -го свойства j -го компонента руды, ξ_{ij} – абсолютное значение i -го свойства j -го компонента, ξ_{imax} и ξ_{imin} – максимальное и минимальное значение i -го свойства компонентов, соответственно.

В результате нормировки каждое значение ξ'_{ij} будет принадлежать диапазону $[0;1]$, где «1» соответствует компоненту (минералу) с максимальным, а «0» – с минимальным значением свойства ξ_i . Наиболее контрастным, определяющим выбор эффективного метода сепарации, будет считаться свойство ξ_i , для которого следующее по величине значение ξ'_{ij} максимально отличается от «1».

В качестве дополнительного критерия в ряде случаев необходимо оценить различия крупности зерен, для которых заданы исходные значения в таблице $\xi(M \times N+1)$. Если достижение раскрытия минерала с наиболее контрастным разделительным свойством ξ_p может повлечь значимое нежелательное переизмельчение зерен других ценных минералов, то зависимость разделительных свойств от крупности частиц перерабатываемого массопотока будет накладывать ограничения на выбор ξ_p для сепарации. В этом случае процедура оценки относительной контрастности свойств компонентов и выбор метода сепарации может проводиться только для части таблицы $\xi(M \times N+1)$, соответствующей минералам с близкими по величине «крупными» зёрнами. Степень измельчения частиц массопотока для начальных стадии сепарации также должна обеспечить раскрытие только «крупных» зерен минералов, которые могут быть выделены в полезный продукт. Остальная часть массопотока будет являться промпродуктом.

Выбор метода и аппаратов каждой последующей стадии обогащения выполняется по аналогичному принципу. Для входного массопотока формируется и анализируется модифицированная таблица $\xi(M \times N+1)$ с учетом извлеченных на предыдущих стадиях компонентов. Модификация может затрагивать как размерность таблицы (если в процессе предшествующих стадий переработки полностью извлечены какие-либо минералы), так и значения ξ_{ij} за счет изменения значений свойств в связи с уменьшением крупности частиц минералов. Это касается как формирования технологической схем строго последовательных стадий измельчения-классификации-сепарации, так и схем с последовательно-параллельным соединением стадий, более характерных для обогащения комплексных руд.

Заключение

В настоящей работе предложен вариант выбора методов и аппаратов обогащения на основе анализа и сопоставления значений свойств образующих руду минералов и сепарационных характеристик оборудования с учетом фракционной структуры по крупности. Необходимо отметить, что в описанных процедурах затрагиваются только технологические аспекты процесса разделения. Однако авторы полагают, что подобное решение может быть применено и для учета таких экономических характеристик оборудования, как пофракционные переменные издержки на операцию, задаваемые таблицей $vc_{i,j}(\beta \times d)$, где $vc_{i,j}$ – суммарные затраты на операцию, выполняемую аппаратом с фракцией крупности d_j и содержанием полезного β_i , с учетом потребленных ресурсов и амортизации оборудования [15].

Более точную оценку контрастности свойств разделяемых минералов можно получить в результате расчета величины разделительных сил, способных воздействовать на эти свойства $F=f(\xi_p, d)$, где ξ_p – удельное значение разделительного свойства, а d – размер частицы. Использование априорно известных справочных значений свойств ξ_p для разделяемых минералов с учетом их крупности позволяет избежать проведения ряда дополнительных расчетов.

Описанные процедуры выбора аппаратов планируется использовать для определения постоянных и динамических ограничений в рамках разрабатываемой информационной технологии структурного синтеза схем многостадийных технологических процессов на основе методов программирования в ограничениях [14, 15]. К априорным будут относиться ограничения, определяемые свойствами исходного сырья и существующего оборудования. Динамические ограничения определяются на основе модифицируемых в результате прохождения стадий обогащения матриц $\gamma_{ij}(\beta \times d)$ и $\xi(M \times N + 1)$.

Литература

1. Ресурсные регионы России в «новой реальности» / под ред. акад. Кулешова В.В. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2017. – 308 с.
2. Горная энциклопедия. Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru>
3. Цифровые технологии в горном деле: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019, №11 (специальный выпуск 37). М.: Издательство «Горная книга». – 664 с.
4. Micromine. Программа для 3D моделирования месторождений. Режим доступа: <https://www.micromine.ru/micromine-mining-software/>
5. MINEFRAME. Система автоматизированного планирования проектирования и сопровождения горных работ. Режим доступа: <http://www.mineframe.ru/products>
6. JKTech. Режим доступа: <https://jktech.com.au/>
7. MODSIM. Режим доступа: <http://www.mineraltech.com/MODSIM/>
8. Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation. Режим доступа: <https://www.ansys.com/products/fluids>
9. COMSOL MULTIPHYSICS Режим доступа: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics>

10. Бирюков В.В. Применение системы Femlab для моделирования гидродинамики течений в обогащательных аппаратах / В.В. Бирюков, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России, 2007, № 3 (97) – С.30-32.
11. Бирюков В.В. Разработка моделей разделительных аппаратов с использованием математического аппарата ММК / В.В. Бирюков, И.В. Буренина, Р.М. Никитин, А.Г. Олейник // Труды Кольского научного центра РАН. 4/2012(11). Информационные технологии. Выпуск.3 – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – С. 124-133.
12. Гершенкоп А.Ш. Автоматизированная система синтеза оптимальных схем и циклов процессов обогащения/ А.Ш.Гершенкоп, А.Г. Олейник, В.Ф. Скороходов и др. // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1999, – С.101-107.
13. Олейник А.Г. Алгоритм функционирования блока автоматизированного выбора топологии технологической схемы обогащения минерального сырья / А.Г. Олейник, В.Ф. Скороходов, В.В. Бирюков // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. - Вып. 5. – С.215-220.
14. Zuenko A. Information technology for structural flowsheet synthesis, based on the constraint satisfaction methods/ A. Zuenko, A. Oleynik, Y. Oleynik, V. Birukov, R. Nikitin // The 33rd annual European Simulation and Modelling Conference (ESM'2019), 2019, pp.129-133.
15. Zuenko, A. Constraint Programming as an Approach for Structural Flowsheet Synthesis/ A. Zuenko, A. Oleynik, Y. Oleynik, V. Birukov, R. Nikitin // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1288, pp.106-125.
16. Тихонов О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 С.
17. Бирюков В.В. Нетрадиционный подход к моделированию процесса магнитно-гравитационной сепарации. / В.В.Бирюков, А.Г. Олейник // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 6(40). Информационные технологии, Вып.7 – С.157-167.
18. Олейник А.Г. Алгоритм анализа вариантов реализации сепарационного процесса / А.Г. Олейник, А.А. Шалатонова// Информационные технологии в региональном развитии. Вып.3. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН , 2003. – С. 82-85.
19. Pokrajcic Z. Advanced comminution circuit design – essential for industry / Z. Pokrajcic, E. Lewis-Gray // The AusIMM Bulletin, 2010 (4). pp. 38-42.
20. Современное состояние и перспективы развития процессов дробления и измельчения минерального сырья / В.А. Арсентьев, В.Ф. Баранов, Л.А. Вайсберг // Горный журнал, 2007, № 2.). – С.10-14.

Ю.А. Олейник¹, А.А. Зуенко¹

¹ *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН*

ГЛОБАЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ CONSTRAINT PROGRAMMING*

Аннотация

На настоящий момент технология программирования ограничений является мощным инструментом решения задач комбинаторного поиска и комбинаторной оптимизации. Для применения данной технологии любая задача должна быть сформулирована как задача удовлетворения ограничений. Роль концепции глобальных ограничений при моделировании и решении прикладных задач в рамках парадигмы программирования ограничений трудно переоценить. Процедуры, реализующие алгоритмы фильтрации глобальных ограничений, являются теми элементарными “кирпичиками”, из которых строится модель конкретной прикладной задачи. Алгоритмы фильтрации глобальных ограничений, как правило, подкреплены соответствующими развитыми теориями, позволяющими организовывать высокопроизводительные вычисления. Выбор той или иной программной библиотеки, прежде всего, обуславливается тем, насколько набор и способ реализации глобальных ограничений соответствует уровню современных исследований в данной области. Основное внимание в настоящей статье сосредоточено на обзоре глобальных ограничений, которые реализованы в рамках наиболее популярных библиотек программирования в ограничениях: Choco, GeCode, JaCoP, MiniZinc.

Ключевые слова:

программирование ограничений, задача удовлетворения ограничений, глобальные ограничения, алгоритмы фильтрации ограничений.

Yu.A. Oleynik¹, A.A. Zuenko¹

¹ *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

GLOBAL CONSTRAINTS IN MODELING AND SOLVING PROBLEMS WITHIN THE CONSTRAINT PROGRAMMING PARADIGM

Abstract

At the moment, constraint programming technology is a powerful tool for solving combinatorial search and combinatorial optimization problems. To use this technology, any task must be formulated as a task of satisfying constraints. The role of the concept of global constraints in modeling and solving applied problems within the framework of the constraint programming paradigm can hardly be overestimated. The procedures that implement the algorithms of filtering global constraints are the elementary “building blocks” from which the model of a specific applied problem is built. Algorithms for filtering global constraints, as a rule, are supported by the corresponding developed theories that allow organizing high-performance computing. The choice of a particular software library is primarily determined by the extent to which the set and method of implementing global constraints corresponds to the level of modern research in this area. The main focus of this article is focused on an overview of global constraints that

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 18-07-00615-а, 19-07-00359-а, 20-07-00708-а.

are implemented within the most popular constraint programming libraries: Choco, GeCode, JaCoP, MiniZinc.

Keywords:

constraint programming, constraint satisfaction problem, global constraints, constraint filtering algorithms.

Введение

На настоящий момент технология программирования ограничений (Constraint Programming – CP) является мощным инструментом решения задач комбинаторного поиска и комбинаторной оптимизации. Для применения данной технологии любая задача должна быть сформулирована как задача удовлетворения ограничений (CSP – Constraint Satisfaction Problem).

Задача удовлетворения ограничений состоит из трех компонент: $\langle X, D, C \rangle$. X – множество переменных $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. D – множество доменов $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, где D_i является доменом (областью определения) переменной X_i . C – множество ограничений $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, которые предписывают допустимые комбинации значений переменных. Каждый домен D_i описывает множество допустимых значений $\{v_1, \dots, v_k\}$ для переменной X_i . Под ограничением понимается любое соотношение между переменными предметной области. В качестве ограничений могут выступать арифметические выражения; логические формулы; таблицы; выражения, формулируемые на языке специализированных теорий.

Решением задачи CSP является полное присваивание, которое удовлетворяет всем ограничениям. В некоторых случаях необходимо получить все решения. Иногда требуется найти такое решение, в котором значения переменных оптимизировали бы некоторый заданный функционал. CSP-задачи принадлежат классу NP-полных задач.

Технология программирования в ограничениях предоставляет мощные и гибкие методы, алгоритмы решения задач комбинаторного поиска. Особенности технологии:

1. С точки зрения конечного пользователя задача CSP формулируется в декларативном виде, на языке близком к языку математики. Порядок задания ограничений несущественен.

2. Любой алгоритм удовлетворения ограничений должен содержать две обязательных компоненты: а) компоненту, реализующую вывод (распространение); б) компоненту, реализующую поиск.

3. Вывод (распространение) реализуется как целенаправленное сужение изначально заданных областей определения переменных.

4. Эвристики, используемые в процедурах поиска, разрабатываются не под конкретную задачу, а являются универсальными.

5. Благодаря архитектуре систем программирования в ограничениях, появляется возможность совместно обрабатывать количественные и качественные ограничения.

6. Обеспечивается возможность сопровождать модели, открытые для оперативных модификаций, то есть развивающиеся модели. При добавлении/удалении из модели ограничений нет необходимости писать новые методы решения задачи.

7. Библиотеки программирования в ограничениях содержат высокоэффективные алгоритмы вывода для обработки, так называемых, глобальных ограничений. Знания подобных ограничений позволяет конструировать, как из кирпичиков, модель решаемой задачи.

Программирование в ограничениях особенно полезно там, где нет возможности получить удовлетворительное/адекватное решение средствами «обычной» математики. Оно используется при решении задач планирования, проектирования, прогнозирования, в инженерных и экономических расчетах, при создании графических интерфейсов, в системах понимания естественного языка и др.

Процесс решения задач удовлетворения ограничений строится на применении алгоритмов трех основных типов [1]:

- Алгоритмы фильтрации – алгоритмы, сокращающие домены переменных, участвующих в одном ограничении.
- Алгоритмы распространения – алгоритмы передающие (распространяющие) изменения доменов переменных, произошедшие в рамках одного ограничения, на другие ограничения задачи.
- Алгоритмы поиска – алгоритмы, находящие конкретные решения задачи путем присваивания конкретных значений переменным с последующим распространением внесенных изменений.

Иногда алгоритмы первых двух типов называют алгоритмами-распространителями или алгоритмами-пропагаторами.

Архитектура систем программирования в ограничениях напоминает архитектуру вычислительных машин (рис. 1). В качестве своеобразной шины данных в системах программирования в ограничениях выступает так называемое хранилище ограничений, представляющее собой, список пар «переменная – перечень значений переменной, которые она может принимать на текущем этапе вывода». Аналогом центрального процессора выступает алгоритм – дирижер (управляющая подпрограмма), реализующий базовую стратегию поиска. В случае систематического поиска данный алгоритм выбирает переменную и присваиваемое значение переменной. Далее начинается работа алгоритмов распространения, которые должны установить порядок вызова тех или иных процедур фильтрации. Как правило, априорно задаются приоритеты обработки тех или иных ограничений.

В качестве сопрограмм выступают подпрограммы, реализующие вывод на ограничениях, – алгоритмы фильтрации ограничений. Для различных типов ограничений и типов областей определения переменных разрабатываются различные алгоритмы фильтрации. Продолжая аналогию с архитектурой вычислительных машин, процедуры-фильтрации соотносятся с дополнительными устройствами (оперативная память, жесткий диск и т.п.), достаточно гибко подключаемыми через шину данных. Кроме стандартных типов ограничений и алгоритмов-распространителей, в рамках библиотек программирования в ограничениях существует возможность создания пользовательских типов ограничений и соответствующих процедур распространения.

Основное внимание в настоящей статье сосредоточено на обзоре глобальных ограничений, которые реализованы в рамках наиболее популярных библиотек Constraint Programming: Choco, GeCode, JaCoP, MiniZinc.

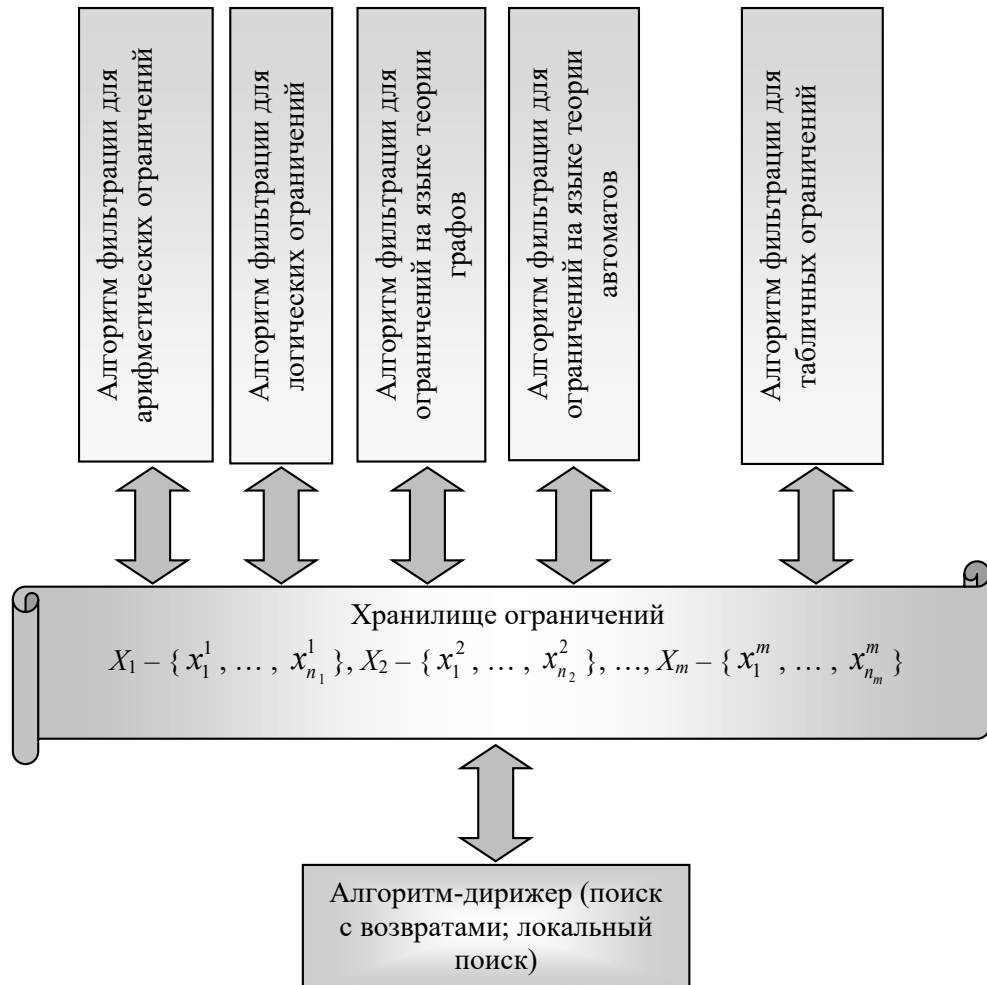


Рис. 1. Архитектура системы программирования в ограничениях

1. Концепция глобальных ограничений

Строгого определения понятия глобального ограничения не существует. Далее на примерах приводится описание концепции глобальных ограничений.

Пусть даны переменные $X \in \{0, \dots, 8\}$, $Y \in \{1, \dots, 6\}$ и $Z \in \{2, 3\}$ и ограничения над ними:

$$C_1: X < Y;$$

$$C_2: Y < Z.$$

Алгоритм фильтрации ограничения C_1 сократит домен переменной X до $\{0, \dots, 5\}$, поскольку любые другие значения из домена не будут удовлетворять ограничению C_1 . Точно так же алгоритм фильтрации ограничения C_2 сократит домен переменной Y до $\{1, 2\}$. Далее в дело вступает алгоритм распространения, передающий в ограничение C_1 информацию об изменении домена переменной Y , в результате чего вновь запускается алгоритм фильтрации этого ограничения, сокращающий домен переменной X до $\{0, 1\}$. Таким образом, домены переменных сократились до $X \in \{0, 1\}$, $Y \in \{1, 2\}$ и $Z \in \{2, 3\}$, и дальше их

сократить сами по себе алгоритмы фильтрации и распространения не могут, поэтому задействуется алгоритм поиска. Данный алгоритм перебирает возможные присваивания переменным значений из оставшихся доменов. Таким образом получаются решения:

$$X = 0, Y = 1, Z = 2;$$

$$X = 1, Y = 2, Z = 3.$$

В реальных задачах количество ограничений очень велико, и любое самое незначительное изменение домена на этапе фильтрации в каком-либо ограничении запустит целый каскад вызовов алгоритмов распространения и фильтрации для других ограничений. Поэтому наиболее эффективно было бы максимизировать сокращения доменов именно на этапе фильтрации, чтобы минимизировать количество вызовов алгоритмов.

Рассмотрим теперь аналогичную задачу для переменных с теми же начальными доменами, но заданную с помощью одного ограничения:

$$X < Y < Z.$$

В этом случае до этапа поиска домены переменных сократятся до тех же значений $X \in \{0, 1\}$, $Y \in \{1, 2\}$ и $Z \in \{2, 3\}$, однако это произойдет уже на этапе фильтрации, без задействования алгоритмов распространения, что существенно эффективнее.

На самом деле, чем проще ограничение, тем меньше возможностей у алгоритма фильтрации для анализа и последующего сокращения доменов участвующих в нем переменных. Поэтому набор однотипных ограничений оказался эффективнее объединять в одно ограничение, для которого разрабатываются эффективные алгоритмы фильтрации. Такие составные ограничения называют глобальными. Количество однотипных простых ограничений, объединенных в глобальное, чаще всего не ограничено, что дает другое определение глобального ограничения, как ограничение, описывающее отношение на неограниченном количестве переменных [2].

Для иллюстрации преимуществ глобальных ограничений рассмотрим одно из самых популярных ограничений *alldifferent*. Ограничение *alldifferent*(X_1, X_2, \dots, X_N) определяет, что значения переменных X_1, X_2, \dots, X_N должны быть различны между собой и равносильно множеству соответствующих попарных неравенств. Для примера рассмотрим *alldifferent*(X, Y, Z) для $X \in \{1, 2\}$, $Y \in \{1, 2\}$ и $Z \in \{1, 2, 3\}$, что равносильно $X \neq Y, X \neq Z, Y \neq Z$.

В случае рассмотрения каждого неравенства отдельно, не получится сократить домены переменных вплоть до этапа поиска, когда какой-то из переменных будет присвоено конкретное значение. С другой стороны, алгоритм фильтрации глобального ограничения позволит сократить домен переменной Z до $\{3\}$, существенно снизив тем самым количество рассматриваемых на этапе поиска комбинаций значений переменных (пространство поиска решений).

Также следует отметить, что одно ограничение *alldifferent* для N переменных заменяет $N(N-1)/2$ простейших неравенств. Аналогичная тенденция прослеживается и для других глобальных ограничений, таким образом глобальные ограничения упрощают описание задач удовлетворения ограничений.

Ряд популярных глобальных ограничений и примеры задач с ними приведен ниже.

2. Обзор глобальных ограничений наиболее популярных библиотек программирования в ограничениях

$diffn(X, Y, DX, DY)$ – ограничение задает условие, что прямоугольники, заданные координатами угла $(X[i], Y[i])$ и длинами сторон $DX[i]$ и $DY[i]$ не перекрываются [3].

Пример 1: Пусть $X_1 \in \{1, 2, 3\}$, $X_2 \in \{1, 2, 3\}$, $X_3 \in \{1, 2\}$, $X_4 \in \{1, 2, 3\}$, $DX = \{2, 3, 1, 4\}$, $Y_1 \in \{1, 2, 3\}$, $Y_2 \in \{2, 3\}$, $Y_3 \in \{1, \dots, 4\}$, $Y_4 \in \{1, 2, 3\}$, $DY = \{3, 2, 4, 1\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению $diffn(\{X_1, X_2, X_3, X_4\}, \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}, DX, DY)$ будут (рис. 1):

1. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 1, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 2, Y_3 = 4, Y_4 = 1.$
2. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 2, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 2, Y_3 = 4, Y_4 = 1.$
3. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 1, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 3, Y_3 = 4, Y_4 = 1.$
4. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 1, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 3, Y_3 = 4, Y_4 = 2.$
5. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 2, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 3, Y_3 = 4, Y_4 = 1.$
6. $X_1 = 1, X_2 = 3, X_3 = 2, X_4 = 3, Y_1 = 1, Y_2 = 3, Y_3 = 4, Y_4 = 2.$

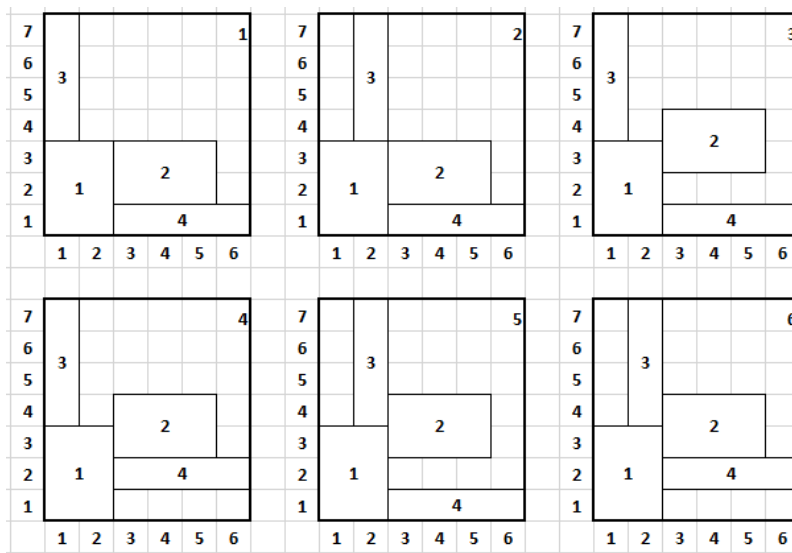


Рис. 2. Визуализация решений задачи

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 1).

Таблица 1.
Реализация ограничения $diffn$ в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	$diffN$	$nooverlap$	$diff/diff 2$	$diffn$

$among(n, V, T)$ – ровно n переменных из множества переменных V должны принимать значения из множества значений T [3].

Пример 2: Пусть $V_1 \in \{1, \dots, 5\}$, $V_2 \in \{3, \dots, 9\}$, $V_3 \in \{5, 6\}$, $V_4 \in \{2, 3\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению **among**(3, $\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, {2, 4}) будут:

1. $V_1 = 2, V_2 = 4, V_3 = 5, V_4 = 2.$
2. $V_1 = 2, V_2 = 4, V_3 = 6, V_4 = 2.$
3. $V_1 = 4, V_2 = 4, V_3 = 5, V_4 = 2.$
4. $V_1 = 4, V_2 = 4, V_3 = 6, V_4 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 2).

Таблица 2.

Реализация ограничения among в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	among	count	among	among

at_least(n, V, T) – минимум n переменных из множества переменных V должны принимать значения из множества значений T .

Пример 3: Пусть $V_1 \in \{3, 4, 5\}$, $V_2 \in \{1, 2\}$, $V_3 \in \{5, 6\}$, $V_4 \in \{7, 8, 9\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению **at_least**(2, $\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, 5) будут:

1. $V_1 = 5, V_2 = 1, V_3 = 5, V_4 = 7.$
2. $V_1 = 5, V_2 = 1, V_3 = 5, V_4 = 8.$
3. $V_1 = 5, V_2 = 1, V_3 = 5, V_4 = 9.$
4. $V_1 = 5, V_2 = 2, V_3 = 5, V_4 = 7.$
5. $V_1 = 5, V_2 = 2, V_3 = 5, V_4 = 8.$
6. $V_1 = 5, V_2 = 2, V_3 = 5, V_4 = 9.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 3).

Таблица 3.

Реализация ограничения at_least в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	occurenceMin	count/atleast	count	at_least

at_most(n, V, T) – максимум n переменных из множества переменных V должны принимать значения из множества значений T .

Пример 4: Пусть $V_1 \in \{1, 2\}$, $V_2 \in \{2, 3\}$, $V_3 \in \{5, 6\}$, $V_4 \in \{2, 3\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению **at_most**(1, $\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, 2) будут:

1. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 5, V_4 = 3.$
2. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 6, V_4 = 3.$
3. $V_1 = 1, V_2 = 3, V_3 = 5, V_4 = 2.$
4. $V_1 = 1, V_2 = 3, V_3 = 5, V_4 = 3.$

5. $V_1 = 1, V_2 = 3, V_3 = 6, V_4 = 2.$
6. $V_1 = 1, V_2 = 3, V_3 = 6, V_4 = 3.$
7. $V_1 = 2, V_2 = 3, V_3 = 5, V_4 = 3.$
8. $V_1 = 2, V_2 = 3, V_3 = 6, V_4 = 3.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 4).

Таблица 4.
Реализация ограничения `at_most` в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>occurrenceMax</i>	<i>count/atmost</i>	<i>count</i>	<i>at_most</i>

count(y, V, R, c) – количество переменных из множества V , принимающих значение y , должно быть R ($R \in \{=, >=, >, <=, <, !=\}$) значению c [4].

Является обобщением предыдущих ограничений. Так,

count($y, V, =, c$) равносильно **among**(c, V, y);

count($y, V, >=, c$) равносильно **at_least**(c, V, y);

count($y, V, <=, c$) равносильно **at_most**(c, V, y).

Либо **count** можно представить комбинацией ограничений:

count(y, V, R, c) \Leftrightarrow **among**(t, V, y) && ($t R c$), где $R \in \{=, >=, >, <=, <, !=\}$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 5).

Таблица 5.
Реализация ограничения `count` в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>occurrence</i>	<i>count</i>	<i>count</i>	<i>count</i>

global_cardinality(V, C, N) – количество переменных из множества V , принимающих значение $C[i]$, должно быть равно $N[i]$ [5].

Пример 5: Пусть $V_1 \in \{3, 4\}, V_2 \in \{2, 3\}, V_3 \in \{1, 2\}, V_4 \in \{2, 3, 4\}, V_5 \in \{2, 3\}, V_6 \in \{1, 2\}, C = \{1, 2, 3, 4\}, N_1 \in \{1\}, N_2 \in \{2, 3\}, N_3 \in \{0, 1\}, N_4 \in \{2, 3\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению

global_cardinality($\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6\}, C, \{N_1, N_2, N_3, N_4\}$) будут:

1. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 4, V_5 = 2, V_6 = 2, N_1 = 1, N_2 = 3, N_3 = 0, N_4 = 2.$
2. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 4, V_5 = 3, V_6 = 2, N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, N_4 = 2.$
3. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 2, V_6 = 1, N_1 = 1, N_2 = 3, N_3 = 0, N_4 = 2.$
4. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 3, V_6 = 1, N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, N_4 = 2.$
5. $V_1 = 4, V_2 = 3, V_3 = 1, V_4 = 4, V_5 = 2, V_6 = 2, N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, N_4 = 2.$
6. $V_1 = 4, V_2 = 3, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 2, V_6 = 1, N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, N_4 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 6).

Таблица 6.

Реализация ограничения `global_cardinality` в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	<i>Choco</i>	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>globalCardinality</i>	<i>count</i>	<i>Gcc</i>	<i>global_cardinality</i>

all_different(V) – значения переменных из множества V должны быть различны между собой [6].

Пример 6: Пусть $V_1 \in \{2, 3, 4\}$, $V_2 \in \{2, 3\}$, $V_3 \in \{1, \dots, 6\}$, $V_4 \in \{2, \dots, 5\}$, $V_5 \in \{2, 3\}$, $V_6 \in \{1, \dots, 6\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению ***all_different***($\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6\}$) будут:

1. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 5, V_5 = 3, V_6 = 6.$
2. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 6, V_4 = 5, V_5 = 3, V_6 = 1.$
3. $V_1 = 4, V_2 = 3, V_3 = 1, V_4 = 5, V_5 = 2, V_6 = 6.$
4. $V_1 = 4, V_2 = 3, V_3 = 6, V_4 = 5, V_5 = 2, V_6 = 1.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 7).

Таблица 7.

Реализация ограничения `all_different` в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>allDifferent</i>	<i>Linear</i>	<i>alldifferent/ alldiff/ alldistinct</i>	<i>all_different</i>

alldifferent_except_0(V) – значения переменных из множества V должны быть различны, за исключением элементов, равных 0 [6].

Пример 7: Пусть $V_1 \in \{0, \dots, 4\}$, $V_2 \in \{1, 2\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $V_4 \in \{0, 1\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению ***alldifferent_except_0***($\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$) будут:

1. $V_1 = 0, V_2 = 1, V_3 = 2, V_4 = 0.$
2. $V_1 = 0, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 0.$
3. $V_1 = 3, V_2 = 1, V_3 = 2, V_4 = 0.$
4. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 0.$
5. $V_1 = 4, V_2 = 1, V_3 = 2, V_4 = 0.$
6. $V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 0.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 8).

Таблица 8.

Реализация ограничения `alldifferent_except_0` в популярных библиотеках
Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>alldifferent_except_0</i>	<i>alldifferent_except_0</i>	<i>alldifferentexcept0</i>	<i>alldifferent_except_0</i>

all_equal(V) – значения переменных из множества V должны быть одинаковы [7].

Пример 8: Пусть $V_1 \in \{0, \dots, 6\}$, $V_2 \in \{0, 1, 2\}$, $V_3 \in \{0, 1, 2\}$, $V_4 \in \{1, \dots, 4\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению ***all_equal***($\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$) будут:

1. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 1.$
2. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 9).

Таблица 9.

Реализация ограничения `all_equal` в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>atMostNValue</i>	<i>Rel</i>	<i>allegal</i>	<i>all_equal</i>

nvalue(n, V) – количество непересекающихся значений в множестве переменных V должно быть равно n [8].

Пример 9: Пусть $n \in \{1, 2\}$, $V_1 \in \{2, 3, 4\}$, $V_2 \in \{1, 2\}$, $V_3 \in \{2, 3, 4\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению ***nvalue***($n, \{V_1, V_2, V_3\}$) будут:

1. $n = 1, V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2.$
2. $n = 2, V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 2.$
3. $n = 2, V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 3.$
4. $n = 2, V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 4.$
5. $n = 2, V_1 = 3, V_2 = 1, V_3 = 3.$
6. $n = 2, V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 2.$
7. $n = 2, V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 3.$
8. $n = 2, V_1 = 4, V_2 = 1, V_3 = 4.$
9. $n = 2, V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 2.$
10. $n = 2, V_1 = 4, V_2 = 2, V_3 = 4.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 10).

Таблица 10.

Реализация ограничения *nvalue* в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>nValues</i>	<i>Nvalues</i>	-	<i>nvalue</i>

decreasing(V) – ограничение задает условие, что массив переменных V отсортирован по убыванию.

Пример 10: Пусть $V_1 \in \{0, \dots, 3\}$, $V_2 \in \{0, 1, 2\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $V_4 \in \{1, 2\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению *decreasing*($\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$) будут:

1. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 2.$
2. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 1.$
3. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 1.$
4. $V_1 = 3, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 1.$
5. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 2.$
6. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 1.$
7. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 1, V_4 = 1.$
8. $V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 1.$
9. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 1.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 11).

Таблица 11.

Реализация ограничения *decreasing* в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	-	<i>Rel</i>	-	<i>decreasing</i>

increasing(V) – ограничение задает условие, что массив переменных V отсортирован по возрастанию.

Пример 11: Пусть $V_1 \in \{1, 2, 3\}$, $V_2 \in \{0, 1, 2\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $V_4 \in \{1, 2\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению *increasing*($\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$) будут:

1. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 1.$
2. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 1, V_4 = 2.$
3. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 2, V_4 = 2.$
4. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 2.$
5. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 12).

Таблица 12.

Реализация ограничения increasing в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>sort</i>	<i>rel</i>	-	<i>increasing</i>

$sort(V, S)$ – ограничение задает условие, что значения переменных из массива V совпадают со значениями переменных массива S , но при этом массив S отсортирован по возрастанию [9].

Пример 12: Пусть $V_1 \in \{2, 3\}$, $V_2 \in \{2, 3\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $V_4 \in \{4, 5\}$, $V_5 \in \{2, 3, 4\}$, $S_1 \in \{2, 3\}$, $S_2 \in \{2, 3\}$, $S_3 \in \{1, 2, 3\}$, $S_4 \in \{4, 5\}$, $S_5 \in \{2, \dots, 5\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению $sort(\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}, \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\})$ будут:

1. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 2, S_4 = 4, S_5 = 4.$
2. $V_1 = 2, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 5, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 2, S_4 = 4, S_5 = 5.$
3. $V_1 = 2, V_2 = 3, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 4.$
4. $V_1 = 2, V_2 = 3, V_3 = 2, V_4 = 5, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 5.$
5. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 4.$
6. $V_1 = 3, V_2 = 2, V_3 = 2, V_4 = 5, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 2, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 5.$
7. $V_1 = 3, V_2 = 3, V_3 = 2, V_4 = 4, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 3, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 4.$
8. $V_1 = 3, V_2 = 3, V_3 = 2, V_4 = 5, V_5 = 4, S_1 = 2, S_2 = 3, S_3 = 3, S_4 = 4, S_5 = 5.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 13).

Таблица 13.

Реализация ограничения sort в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>sort</i>	<i>sorted</i>	-	<i>sort</i>

$bin_packing(c, V, W)$ – ограничение задает условие, каждый предмет i с весом $W[i]$ должен быть помещен в корзину $V[i]$, при этом вес каждой корзины не должен превышать c [10].

Пример 13: Пусть $V_1 \in \{1, 2\}$, $V_2 \in \{1, 2\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $W = \{4, 3, 1\}$, $c = 5$ тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению $bin_packing(c, \{V_1, V_2, V_3, V_4\}, W)$ будут:

1. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 1.$
2. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 2.$
3. $V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 1.$
4. $V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 13).

Таблица 13.

Реализация ограничения bin_packing в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	binPacking	binpacking	Binpacking	bin_packing

$bin_packing_capa(C, V, W)$ – ограничение задает условие, каждый предмет i с весом $W[i]$ должен быть помещен в корзину $V[i]$, при этом вес каждой корзины не должен превышать $C[j]$ [10].

Пример 14: Пусть $V_1 \in \{1, 2\}$, $V_2 \in \{1, 2\}$, $V_3 \in \{1, 2\}$, $W = \{4, 3, 1\}$, $C = \{4, 5\}$ тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению $bin_packing_capa(C, \{V_1, V_2, V_3, V_4\}, W)$ будут:

1. $V_1 = 1, V_2 = 2, V_3 = 2.$
2. $V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 1.$
3. $V_1 = 2, V_2 = 1, V_3 = 2.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 14).

Таблица 14.

Реализация ограничения bin_packing_capa в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	binPacking	binpacking	Binpacking	bin_packing_capa

$cumulative(S, D, R, b)$ – ограничение задает условие, что в никакой момент времени, выполнение задач с временем начала $S[i]$, продолжительностью $D[i]$, потреблением ресурсов $R[i]$ не превысит заданного порога b в потреблении ресурсов [10].

Пример 15: Пусть $S_1 \in \{1, \dots, 5\}$, $S_2 \in \{2, \dots, 7\}$, $S_3 \in \{3, \dots, 6\}$, $S_4 \in \{1, \dots, 8\}$, $D_1 \in \{4\}$, $D_2 \in \{6\}$, $D_3 \in \{3, \dots, 6\}$, $D_4 \in \{2, 3\}$, $R_1 \in \{2, \dots, 6\}$, $R_2 \in \{3\}$, $R_3 \in \{1, 2\}$, $R_4 \in \{3, 4\}$, $b = 5$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению $cumulative(\{S_1, S_2, S_3, S_4\}, \{D_1, D_2, D_3, D_4\}, \{R_1, R_2, R_3, R_4\}, b)$ будут:

1. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 5, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 1, R_4 = 3.$
2. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 5, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 2, R_4 = 3.$
3. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 5, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 4, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 1, R_4 = 3.$
4. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 5, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 4, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 2, R_4 = 3.$
5. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 6, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 1, R_4 = 3.$
6. $S_1 = 1, S_2 = 3, S_3 = 6, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 2, R_4 = 3.$

7. $S_1 = 2, S_2 = 3, S_3 = 6, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 1, R_4 = 3.$

8. $S_1 = 2, S_2 = 3, S_3 = 6, S_4 = 1, D_1 = 4, D_2 = 6, D_3 = 3, D_4 = 2, R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 2, R_4 = 3.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 15).

Таблица 15.

Реализация ограничения *cumulative* в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>cumulative</i>	<i>cumulative</i>	<i>cumulative</i>	<i>cumulative</i>

disjunctive(S, D) – ограничение задает условие, что задачи с временем начала $S[i]$ и продолжительностью $D[i]$ не будут пересекаться по времени [11].

Пример 16: Пусть $S_1 \in \{2, \dots, 5\}, S_2 \in \{2, 3, 4\}, S_3 \in \{3, \dots, 6\}, S_4 \in \{2, \dots, 7\}, D_1 \in \{2, 3, 4\}, D_2 \in \{1, \dots, 6\}, D_3 \in \{4\}, D_4 \in \{1, 2, 3\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению *disjunctive*($\{S_1, S_2, S_3, S_4\}, \{D_1, D_2, D_3, D_4\}$) будут:

1. $S_1 = 2, S_2 = 4, S_3 = 6, S_4 = 5, D_1 = 2, D_2 = 1, D_3 = 4, D_4 = 1.$
2. $S_1 = 3, S_2 = 2, S_3 = 6, S_4 = 5, D_1 = 2, D_2 = 1, D_3 = 4, D_4 = 1.$
3. $S_1 = 4, S_2 = 2, S_3 = 6, S_4 = 3, D_1 = 2, D_2 = 1, D_3 = 4, D_4 = 1.$
4. $S_1 = 4, S_2 = 3, S_3 = 6, S_4 = 2, D_1 = 2, D_2 = 1, D_3 = 4, D_4 = 1.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 16).

Таблица 16.

Реализация ограничения *disjunctive* в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>cumulative</i>	<i>unary</i>	<i>cumulative</i>	<i>cumulative</i>

knapsack(W, P, V, wr, pr) – ограничение задает условие, предметы с весами $W[i]$, ценностью $P[i]$ в количестве $V[i]$ должны быть упакованы в рюкзак с ограничениями по весу не более wr и с максимизацией общей ценности pr [12].

Пример 17. Пусть $V_1 \in \{0, 1, 2\}, V_2 \in \{0, 1, 2\}, V_3 \in \{0, 1, 2\}, W = \{2, 3, 1\}, P = \{3, 5, 2\}, wr \leq 8$ тогда оптимальным решением, удовлетворяющим ограничению *knapsack*($W, P, \{V_1, V_2, V_3\}, wr, pr$) будут:

$$V_1 = 0, V_2 = 2, V_3 = 2, wr = 8, pr = 14.$$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 17).

Реализация ограничения knapsack в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>knapsack</i>	<i>linear</i>	<i>Knapsack</i>	<i>knapsack</i>

connected(*FROM*, *TO*, *NS*, *ES*) – ограничение задает условие, что в ориентированном графе, состоящем из i ребер ($FROM[i]$, $TO[i]$), подграф, описанный булевыми массивами *NS* и *ES*, является связным.

dag(*FROM*, *TO*, *NS*, *ES*) – ограничение задает условие, что в ориентированном графе, состоящем из i ребер ($FROM[i]$, $TO[i]$), подграф, описанный булевыми массивами *NS* и *ES*, является ациклическим.

path(*FROM*, *TO*, s , t , *NS*, *ES*) – ограничение задает условие, что в ориентированном графе, состоящем из i ребер ($FROM[i]$, $TO[i]$), есть путь из точки s в точку t . Путь описывается булевыми массивами *NS* и *ES*, указывающими содержится ли $NS[i]$ узел и $ES[i]$ ребро графа в искомом пути.

tree(*FROM*, *TO*, r , *NS*, *ES*) – ограничение задает условие, что в неориентированном графе, состоящем из i ребер ($FROM[i]$, $TO[i]$), подграф, описанный булевыми массивами *NS* и *ES*, является деревом с корнем r .

regular(V , fa) – ограничение задает условие, что последовательность значений переменных V соответствует условиям перехода, описанным в конечном автомате fa .

table(V , T , alg) – ограничение задает условие, что значения переменных V принимают значения одного из кортежей T , если кортежи объявлены истинными, либо не должны их принимать, если кортежи объявлены ложными. Для этого ограничения разработан ряд алгоритмов фильтрации таких как СТ+, GAC3rm, GAC2001, GACSTR, GAC2001+, GAC3rm+, FC, STR2+ различной степени применимости и эффективности [13]. Параметр alg позволяет выбрать один из них.

Пример 18: Пусть $V_1 \in \{0, 1\}$, $V_2 \in \{0, 1\}$, $V_3 \in \{0, 1\}$, $T = \{\{0, 0\}, \{1, 1\}\}$, тогда всеми решениями, удовлетворяющими ограничению *table*($\{V_1, V_2\}$, T , alg) для истинных T будут:

1. $V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 = 0.$
2. $V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 = 1.$
3. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 0.$
4. $V_1 = 1, V_2 = 1, V_3 = 1.$

В случае, если T объявлены ложными, решениями будут являться:

1. $V_1 = 0, V_2 = 1, V_3 = 0.$
2. $V_1 = 0, V_2 = 1, V_3 = 1.$
3. $V_1 = 1, V_2 = 0, V_3 = 0.$
4. $V_1 = 1, V_2 = 0, V_3 = 1.$

Это ограничение имеет реализацию в популярных системах(библиотеках) программирования в ограничениях (таблица 18).

Реализация ограничения table в популярных библиотеках Constraint Programming

Библиотека	Choco	GeCode	JaCoP	MiniZinc
Имя ограничения	<i>table</i>	<i>extensional</i>	<i>Table</i>	<i>table</i>

Заключение

Роль концепции глобальных ограничений при моделировании и решении задач в рамках парадигмы Constraint Programming трудно переоценить. Процедуры, реализующие алгоритмы фильтрации глобальных ограничений, являются теми элементарными “кирпичиками”, из которых строится модель конкретной прикладной задачи. Алгоритмы фильтрации глобальных ограничений, как правило, подкреплены соответствующими развитыми теориями, позволяющими организовывать высокопроизводительные вычисления. Выбор той или иной программной библиотеки, прежде всего, обуславливается тем, насколько набор и способ реализации глобальных ограничений соответствует уровню современных исследований в данной области.

Литература

1. Régin, J. Global Constraints: A Survey. / J. Régin // Hybrid Optimization. Springer Optimization and Its Applications. – 2011. – vol.45. – pp. 63-134.
2. Rossi, F. Handbook of constraint programming / F. Rossi, P. van Beek, T. Walsh. – Boston, MA: Elsevier, 2006. – 955 p.
3. Beldiceanu, N. Introducing Global Constraints in CHIP / N. Beldiceanu, E. Contejean // Mathematical and Computer Modelling. – 1994. – vol.2. – iss.12. – pp. 97-123.
4. Carlsson, M. SICStus Prolog User's Manual / M. Carlsson // RISE Research Institutes of Sweden AB 17 November 2020 Available at <http://www.sics.se/sicstus/>.
5. Oplobedu, A. CHARME: Un langage industriel de programmation par contraintes, illustré par une application chez Renault / A. Oplobedu, J. Marcovitch, Y. Tourbier // Proceedings of the Ninth International Workshop on Expert Systems and their Applications. – 1989. – pp. 55-70.
6. Laurière, J.-L. Language and a Program for Stating and Solving Combinatorial Problems / J.-L. Laurière // Artificial Intelligence. – 1978. - vol.10. – iss.1. - P. 29-127.
7. Hebrard, E. A Soft Constraint of Equality: Complexity and Approximability / E. Hebrard, B. O'Sullivan, I. Razgon // Principles and Practice of Constraint Programming. CP 2008. Lecture Notes in Computer Science. – 2008. – vol.5202. – pp. 358-371.
8. Pache, F. Automatic Generation of Music Programs / F. Pache, P. Roy // Principles and Practice of Constraint Programming. CP 1999. Lecture Notes in Computer Science. – 1999. – vol.1713. – pp. 331-345.
9. Older, W. Getting to the Real Problem: Experience with BNR Prolog in OR / W. J. Older, G. M. Swinkels, M. H. van Emden // PAP 1995, the 3rd International Conference on the Practical Application of Prolog. – 1995. – pp. 465-478.
10. Aggoun, A. Extending CHIP in order to Solve Complex Scheduling and Placement Problems / A. Aggoun, N. Beldiceanu // Mathematical and Computer Modelling. – 1993. – vol.17. – iss.7. – pp. 57-73.
11. Carlier, J. The one-machine sequencing problem / J. Carlier // European Journal of Operational Research. – 1982. - vol.11. – iss.1. – pp. 42-47.

12. Borradaile, G. The knapsack problem with neighbour constraints / G. Borradaile, B. Heeringa, G. Wilfong // Journal of Discrete Algorithms. – 2012. – vol.16. – pp. 224-235.
13. Demeulenaere, J. Compact-Table: Efficient Filtering Table Constraints with Reversible Sparse Bit-Sets / J. Demeulenaere, R. Hartert, C. Lecoutre, G. Perez, L. Perron, J. Régin, P. Schaus // Proc. International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, CP 2016. – 2016. – pp. 207-223.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.007

УДК 004.5, 004.9

А.В. Трашкова¹, А.В. Вицентий²

¹ *Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты*

² *Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН*

ВЫБОР СПОСОБА РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕНАЖЕРА-СИМУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Аннотация

В работе рассматривается современное состояние разработок тренажеров-симуляторов для обеспечения профессиональной подготовки кадров в области горных работ. Приведена краткая характеристика наиболее распространённых типов тренажеров-симуляторов. Сделан выбор в пользу реализации VR-симулятора цифрового карьера. Кратко описано состояние разработки проекта системы трехмерного моделирования открытых горных работ «цифровой карьер» в настоящее время.

Ключевые слова:

система моделирования, симулятор, открытые горные работы, образование, цифровая модель рельефа, динамическая визуализация данных.

A.V. Trashkova¹, A.V. Vicentiy²

¹ *Apatity, Murmansk Arctic State University*

² *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

CHOICE OF THE SIMULATOR IMPLEMENTATION METHOD FOR A THREE-DIMENSIONAL MODELING SYSTEM OF OPEN-PIT MINING OPERATIONS

Abstract

The paper discusses the current state of simulators development to provide professional training in mining. A brief description of the most common types of simulators is given. A choice has been made in favour of implementing a VR simulator for a digital career. A brief description of the current state of development of the project for a three-dimensional modeling system for open-pit mining operations is given.

Keywords:

modeling system, simulator, open-pit mining, education, digital elevation model, dynamic data visualization.

1. Введение

Симулятор является приближенной имитацией работы некоторого процесса или системы. В настоящее время симуляторы используются во многих сферах, таких как отработка техники безопасности, тестирование, обучение, видеоигры и так далее. Симуляторы могут быть использованы для демонстрации возможных последствий некоторой деятельности на потенциально опасных объектах с учетом альтернативных условий развития ситуации и различных внешних воздействиях.

Симуляторы также активно используются в тех случаях, когда реальная система не может быть задействована по тем или иным причинам, существует угроза причинения значительного материального ущерба, опасность развития аварии или неконтролируемых последствий, вследствие некавалифицированных управляющих воздействий на систему, а также в случаях, когда система находится на стадии разработки.

Кроме того, различные системы моделирования и симуляторы широко используются в образовательных целях. Они применяются, если работа за настоящим оборудованием является технически сложным и опасным процессом. Главное достоинство таких симуляторов связано с возможностью получения оператором ценного опыта и практических навыков в области безопасной работы с симулируемым объектом или системой в рамках безопасной виртуальной среды. При этом, совершение оператором грубых ошибок во время обучения не повлечет за собой нарушения работы реальной системы и причинения материального ущерба. [1]

Недостатком подобных тренажеров и систем симуляции является, прежде всего, высокая стоимость оборудования, программного обеспечения, а также монтажа и настройки. Поэтому не каждое предприятие, и, тем более, учебное учреждение может позволить себе приобретение такого дорогостоящего симулятора для организации обучения и практической подготовки операторов и обучающихся.

В связи с этим в филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты (филиал МАГУ в г. Апатиты) было принято решение о разработке собственного симулятора – системы моделирования карьера открытых горных работ (цифровой карьер). Моделирующая система предоставляет пользователю реалистичное визуальное отображение самого горного карьера, а также нескольких видов горнодобывающей техники. В частности, планируется реализовать в виде отдельных реалистичных моделей такие виды техника как:

- карьерный экскаватор;
- карьерный автосамосвал;
- бульдозер;
- погрузчик;
- несколько видов бурильных машин;
- и другие виды карьерной техники.

На данном этапе реализации системы моделирования цифровой карьер модели самого карьера, карьерного экскаватора и карьерного автосамосвала

находятся на завершающей стадии реализации. Однако, в связи с тем, что модели разрабатывались в разных трехмерных средах, возникла проблема их стыковки, масштабирования и взаимоувязывания их поведения. Для решения этой проблемы необходимо рассмотреть типовую структуру программно-аппаратной части подобных систем моделирования (симуляторов), а также наиболее распространённые виды и способы практической реализации симуляторов.

2. Структура программно-аппаратного комплекса системы моделирования (симулятора-тренажера)

Тренажеры-симуляторы (системы моделирования) обеспечивают профессиональную подготовку операторов, формирование и совершенствование навыков и умений, необходимых для управления материальным объектом. Функционально тренажеры-симуляторы подразделяются на специализированные, комплексные и групповые.

Специализированный тренажер-симулятор предназначен для подготовки оператора к выполнению деятельности по определенной специальности.

Комплексный тренажер-симулятор предназначен для совместной подготовки нескольких операторов в полном объеме алгоритмов их деятельности, или одного оператора, деятельность которого осуществляется по нескольким специальностям.

Групповой тренажер-симулятор предназначен для одновременной подготовки операторов взаимосвязанных систем.

Тренажер-симулятор, как правило, предполагает наличие рабочего места инструктора. Инструктор задает сценарий тренировки, а также может управлять ходом тренировки и оценивать ее результаты. [2]

В общем случае тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс, имеющий структуру, представленную на рисунке 1.

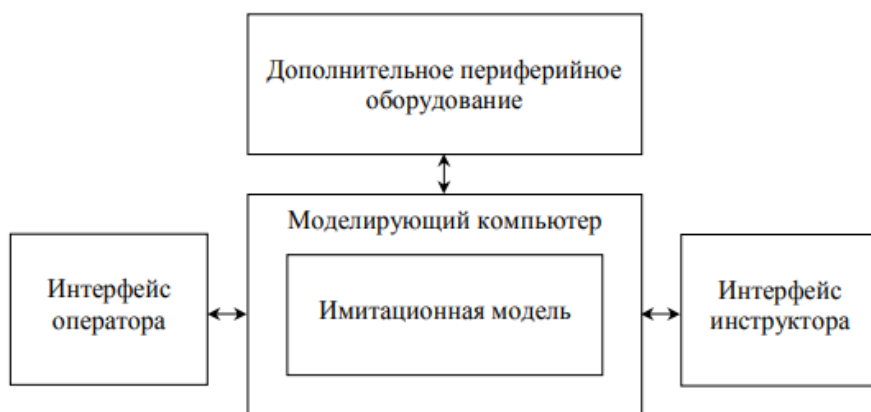


Рис. 1. Общая структура программно-аппаратного комплекса тренажера [3]

Определим основные понятия, применяемые при анализе и разработке автоматизированных систем моделирования и тренажерно-обучающих комплексов (тренажеров).

Моделирующий компьютер. Моделирующий компьютер может быть представлен как простым персональным компьютером, так и сложным, многопроцессорным сверхсовременный компьютером, позволяющим выполнять обработку огромного количества информации в реальном времени, в том числе и с применением вычислений на видеокартах [4]. Компьютер моделирования связан с интерфейсом оператора через систему ввода-вывода. Интерфейс оператора может состоять как из панелей управления и контроля, так и видеотерминалов и распределенной системы управления, обслуживающей видеотерминалы. Хороший интерфейс должен обеспечивать динамическую визуализацию данных и включать в себя некоторые когнитивные функции для облегчения деятельности пользователя [5,6].

В большинстве случаев физические свойства интерфейса оператора точно или в максимально приближенной степени соответствуют конкретному моделируемому процессу.

Имитационная модель. Программные модели, используемые в имитационной среде компьютера, реалистично отображают взаимодействие компонентов и систем моделируемого процесса или системы. Это наиболее важная часть тренажерной системы. От степени приближенности имитационной модели к реальному объекту или системе, правильности реакций на то или иное воздействие, зависит качество получаемых оператором знаний, умений и навыков.

Интерфейс оператора. Интерфейс оператора позволяет обучающемуся манипулировать органами управления способом, приближенным или идентичным используемому в реальном процессе. Динамический отклик тренажера должен быть максимально приближен к отклику систем и компонентов реального объекта или системы.

Интерфейс инструктора. Интерфейс инструктора позволяет управлять работой тренажера, выбирать сценарий тренировки и начальное состояние имитируемого процесса или системы, вводить свои моделируемого процесса или системы, их отдельных компонентов, либо изменять различные внешние факторы. Часть функций инструктора может автоматически выполнять и сама имитационная модель.

Дополнительное периферийное оборудование. Периферийное оборудование включает в себя мониторы, панели и органы управления идентичные реальным, аудиосистемы, принтеры, панели аварийной сигнализации и любое другое оборудование, необходимое для повышения реалистичности моделируемой окружающей обстановки или документирования процесса тренировки. [3]

3. Наиболее распространенные виды систем моделирования (симуляторов-тренажеров) для открытых и закрытых горных работ

В настоящее время широко распространены следующие виды тренажеров:

- Контейнерного типа;
- Стационарного типа;
- Симуляторы с применением технологий виртуальной реальности (VR-тренажеры).

Контейнерные тренажеры размещаются в стандартном шестиметровом контейнере, который имеет утепление, системы кондиционирования и отопления, а также защищен от проникновения пыли. Общий вид симулятора-тренажера контейнерного типа представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Тренажер контейнерного исполнения

Стационарные тренажеры размещаются, как правило, в отдельных учебных аудиториях, специально выделенных для этих целей помещениях, расположенных на предприятиях, учебных центрах, центрах профессиональной подготовки или университетах, где несколько групп обучающихся учебного заведения или операторов предприятия могут пройти обучение в комфортной и контролируемой учебной среде. Общий вид стационарного симулятора-тренажера представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Тренажер стационарного исполнения [7]

Для обеспечения эффективного процесса обучения, тренажеры контейнерного и стационарного исполнения, как правило, оснащаются следующим оборудованием:

- *Система объемного 3D звука.* В частности, на симуляторах горной техники требуется высокоточная 3D-направленная система обеспечения аудиоинформации для реалистичной передачи звуков, исходящих от различных подсистем и внешних источников, таких, например, как другое, работающее поблизости горное оборудование.
- *Панорамный проецируемый дисплей.* Для обеспечения имитации реального панорамного вида, часто используются несколько (три, четыре и более) высоко контрастных проецируемых дисплея, которые обеспечивают угол обзора на 270 или 360 градусов (панорамный) по горизонтали и около 70 градусов по вертикали, что вместе с 3D графикой последнего поколения позволяет погрузиться в точно воспроизведенную, виртуальную трехмерную среду подземных или открытых горных работ.
- *Сменная кабина тренажера.* Сменная кабина тренажера устанавливается на подвижной платформе с шестью (для оборудования открытых горных работ) или тремя (для оборудования подземных работ) степенями свободы.
- *Рабочее место инструктора.* Рабочее место инструктора позволяет следить за деятельностью оператора и контролировать каждый аспект обучения в реальном времени на нескольких дисплеях высокого разрешения.
- *Возможность удаленного просмотра.* Симулятор-тренажер горной техники может транслировать процесс симуляции с пульта инструктора в аудиторию для обучения больших групп и для обзора и оценки проведенного обучения.[7]



Рис. 4. VR-тренажер [8]

При всех достоинствах симуляторов-тренажеров контейнерного и стационарного исполнения, они не обеспечивают полного погружения обучающегося в процесс симуляции. Этот недостаток отсутствует у тренажеров-симуляторов, выполненных с использованием средств и технологий виртуальной реальности. VR-тренажеры, в отличие от симуляторов первых двух типов, обеспечивают полное погружение обучающегося в виртуальную среду, в которой и происходит процесс обучения. Общий вид VR симулятора-тренажера представлен на рисунке 4.

Суть технологии систем моделирования (VR тренажеров-симуляторов), построенных с использованием средств виртуальной реальности, состоит в построении интерактивного, изменяющегося трехмерного пространства, точно соответствующего реальному рабочему окружению. Для погружения в обучающую виртуальную среду, обучающийся надевает шлем (или другой комплект оборудования), виртуально перемещается по объекту моделирования и осуществляет взаимодействие с ним. [8]

Заключение

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что системы моделирования (тренажеры-симуляторы) горнодобывающей отрасли являются сложными программно-аппаратными комплексами. Эти системы пользуются высоким спросом в горнодобывающей отрасли, так как такой вариант реализации обеспечивает максимальную эффективность подготовки специалистов. Контейнерные симуляторы в большей степени актуальны для крупных производств. Для небольших производств или учебных заведений подходят решения в виде стационарных симуляторов либо VR-тренажеров.

Преимуществами VR-тренажеров является их невысокая стоимость, компактность, возможность расположения практически в любом помещении. Реалистичная динамическая интерактивная виртуальная среда, обеспечиваемая таким типом тренажеров-симуляторов, и отсутствие отвлекающих факторов обеспечивают глубокое погружение обучающегося и усвоение материала на уровне зрительной памяти.



Рис. 5. 3D модели карьера, экскаватора и самосвала, созданные в рамках проекта цифровой карьер

В настоящее время в филиале МАГУ в г. Апатиты ведется разработка системы моделирования (тренажера-симулятора) для открытых горных работ, под названием «цифровой карьер». Данная система реализуется по принципам создания VR-тренажеров. На данный момент практически полностью созданы VR-модель карьера, VR-модель экскаватора и VR-модель самосвала (рис. 5). Все модели могут взаимодействовать друг с другом на уровне обособленных объектов. На данном этапе реализованы только самые элементарные взаимодействия. Эта часть системы моделирования является наиболее сложной и требует существенной доработки.

Литература

1. Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. Discrete-Event System Simulation. - 5th ed. Prentice Hall. – 2010. – 622 p.
2. Тренажеры-симуляторы. Режим доступа: <http://rpts.ru/ru/products/develop-ts.html>
3. Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажёрно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. – Томск. 2008. № 1 (29). С. 32-39.
4. Рябов Д.В., Вицентий А.В. Анализ вычислительных возможностей GPU TESLA C2050 // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: КНЦ РАН. 2013. С. 160-169.
5. Vicentiy A., Vicentiy I. The method of dynamic visualization of spatial data for cognitive interfaces of information systems supporting regional management // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM). 2019. pp. 667-672.
6. Вицентий А.В. Визуализация пространственных данных как подход к построению когнитивных интерфейсов мультипредметных информационных систем поддержки регионального управления // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2017. Том 9, № 5 (2017). Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/82TVN517.pdf>
7. Симуляторы полного цикла работ. Режим доступа: <http://www.thoroughtec.com/ru/cybermine> симуляторы-полного-цикла-работ /#fixed_facility_option
8. Учебные симуляторы. Режим доступа: <https://e-learn.sike.ru/news/kakoy-trenazher-vyibrat-dlya-vashego-predpriyatiya>

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.008
УДК 004.8

М.Г.Шишаев

*Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ
КНЦ РАН*

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ*

Аннотация

В работе рассматривается задача анализа текстов, ориентированного на формирование семантической модели предметной области. Предложена двухэтапная структура задачи семантического анализа, рассмотрена типология моделей текста, используемых для определения признаков и формирования целевой модели. Приведены примеры применения нейросетевого подхода к различным задачам анализа естественно-языковых текстов.

Ключевые слова:

семантический анализ текста, модель текста, искусственная нейронная сеть, глубокая нейронная сеть.

M.G.Shishaev

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

NEURAL NETWORK MODELS IN THE PROBLEMS OF SEMANTIC ANALYSIS OF NATURAL LANGUAGE TEXTS

Abstract

The paper deals with the problem of text analysis focused on the formation of a semantic model of the subject area. A two-stage structure of the problem of semantic analysis is proposed, and the typology of text models used to determine features and form a target model is considered. Examples of the application of the neural network approach to various problems of the analysis of natural language texts are given.

Keywords:

semantic analysis of text, text model, artificial neural network, deep neural network

Введение

Тексты на естественном языке (ЕЯ), в силу естественной распространенности и доступности, являются привлекательным материалом для получения, в автоматизированном режиме, некоторых знаний [1]. В общем случае, процесс получения этих знаний принято именовать семантическим анализом, однако, постановки задач семантического анализа могут существенно различаться. С другой стороны, искусственные нейронные сети (ИНС) являются широко распространенным инструментом, используемым для анализа текстов. Количество работ, посвященных применению искусственных нейронных сетей в задачах анализа ЕЯ-текстов – огромно. Например, запрос в «Google-Академии» вида «"natural language processing" & "neural network"» выдает около 200 тысяч записей.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - проект № 20-07-00754 А.

В совокупности, большое разнообразие задач, связанных с семантическим анализом текста, и многообразие применений ИНС для их решения создают довольно сложный ландшафт, требующий систематизации. В данной работе предложена интерпретация семантического анализа текста как двухэтапного процесса, первая часть которого заключается в моделировании текста с целью оценки некоторых его свойств, а вторая – в собственно построении целевой семантической модели. Выделены несколько видов моделей текста, в зависимости от характера отражаемых в моделях свойств, и рассмотрен современный опыт использования ИНС для построения моделей текста различных видов.

1. Структура задачи семантического анализа текста

Текст на естественном языке (ЕЯ-текст) может играть роль как самостоятельного объекта исследования, так и вспомогательного инструмента для изучения других объектов. В данной работе ЕЯ-текст рассматривается как второе. Объектом (целью) моделирования при этом является некоторая предметная область, знания о которой мы хотим получить из имеющихся текстов. Таким образом, под семантическим анализом текстов мы понимаем задачу преобразования $T \rightarrow S(T)$, где T - исходный текст, а $S(T)$ – некоторое подмножество фактов (истинных утверждений) из семантической модели предметной области S , в том или ином виде содержащихся в тексте (следующих из текста). Согласно одному из доминирующих представлений о природе смысла [2], семантика текста (индуцируемые им представления) экстернализирована, не является объективным свойством ЕЯ-текста и зависит, таким образом, от интерпретации, т.е. от используемой модели S , играющей роль метаязыка. Поэтому такая постановка представляется единственно корректной. Семантический анализ текста в нашей трактовке, таким образом, можно считать частным случаем задачи обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Отличие в том, что в NLP результатом обработки является некоторое представление (модель) текста, пригодное для машинной обработки вообще, в случае же семантического анализа целью является построение семантической модели текста в терминах некоторой более общей модели предметной области.

Среди наиболее распространенных задач обработки текстов на ЕЯ (см, например, [3]) такой интерпретации соответствуют задачи распознавания именованных сущностей, извлечения фактов и отношений, семантического аннотирования [4], анализа тональности (sentiment analysis and opinion mining) и другие. В зависимости от задачи, целевая модель S может иметь различный вид – от тривиального множества топонимов в задаче распознавания именованных географических сущностей, до прикладной онтологии в задачах извлечения отношений.

Полученное в результате семантического анализа множество истинных утверждений модели S может затем использоваться для решения различных более прикладных задач: заселения (пополнения) онтологий, семантического поиска информации, оценки схожести смысла, разрешения кореференций и т.п.

Принципиальное отличие разных подходов к решению данной задачи заключается в признаках текста, используемых для идентификации компонентов семантической модели (интерпретации текста в семантическую модель S). В свою очередь, признаки также продуцируются из некоторой модели текста, отражающей те

или иные его аспекты – используемый лексикон, частота использования языковых конструкций, структура синтаксических связей между ними и т.д. Соответственно, используемая модель текста может быть различной: множество символов, множество лексем, синтаксические конструкции, статистическая модель и т.д. Используются и специфические модели, ориентированные на анализ текста в определенном ключе – например, в работе [5] рассматривается оригинальная модель, характеризующая научный текст с точки зрения описанных в нем ментальных операций. Каждая модель может дать те или иные признаки, по которым затем можно идентифицировать семантику. Таким образом, процесс семантического анализа, явно или неявно, включает две ступени:

1) Моделирование текста с целью определения его значимых характеристик. На этом этапе осуществляется своеобразное «измерение» свойств текста.

2) Формирование подмножества целевой семантической модели, в определенном смысле следующего из заданного текста. На этом этапе осуществляется интерпретация текста в целевую семантическую модель.

$$T \rightarrow M(T) \rightarrow S(M(T)).$$

В зависимости от характера признаков, описываемых моделью M , и используемом представлении о внутренней структуре текста, можно выделить следующие виды моделей:

- Лексическая модель. Текст рассматривается как множество лексем (в более общем случае – n -грамм), их отношения между собой не учитываются. Существует много реализаций, например, поиск в тексте сущностей, определенных в модели M , по лексическим маркерам. Используется в анализе тональности, извлечении именованных сущностей и других задачах. Преимущество такой упрощенной модели в скорости обработки текста с целью определения признаков.
- Грамматические модели. На элементах текста устанавливаются отношения (в том числе – одноместные), заданные в некоторой грамматике (синтаксические, коммуникативные или иные), текст рассматривается как грамматическая структура. Обработка текста усложняется, но модель M является более семантически нагруженной, что создает предпосылки для более эффективной последующей трансляции в целевую модель.
- Статистические модели. Ключевой атрибут модели – частотно-вероятностные характеристики элементов текста (в т.ч. – взаимная встречаемость). Текст рассматривается как множество элементов и их комбинаций (символов, лексем, последовательностей слов) со статистическими свойствами. В англоязычной литературе, как правило, под термином «*language model*» подразумевается именно статистическая модель, задающая распределение вероятностей последовательностей слов [6]. «Классическая» задача моделирования в этой трактовке – предсказание следующего слова на основании предыдущих в последовательности. Основное ограничение – для построения модели необходимы большие текстовые корпуса.
- Семантические модели. Текст рассматривается как совокупность некоторых элементов, обладающих смыслом. Роль подобных элементов могут играть как отдельные слова (лексическая семантика), так и более сложные структуры, например – семантические фреймы [7].

- Модели смешанного типа. Практика семантического анализа текстов показывает, что для эффективной трансляции текста в целевую семантическую модель желательно использовать большее количество признаков текста. Это естественным образом приводит к идее использования сразу нескольких моделей текста для оценки его потенциально значимых свойств.

2. Искусственные нейронные сети в задачах семантического анализа текстов

ИНС применяются на обеих обозначенных выше стадиях семантического анализа – как для построения модели текста, так и для ее трансляции в целевую семантическую модель (в том числе и для решения обеих задач одновременно). За исключением тривиальных моделей лексического типа, нейронные сети используются для моделирования ЕЯ-текстов во всех его аспектах – грамматическом, статистическом, семантическом. При этом применяются как «традиционные» ИНС прямого распространения, так и глубокие нейронные сети, имеющие большое количество слоев и сложную архитектуру. Наибольшее широко сети прямого распространения применяются при построении статистических языковых моделей, обеспечивающих предсказание слова (или более крупной языковой конструкции) по заданному контексту. С появлением разнообразных архитектур глубоких ИНС нейросетевой подход стал в той или иной степени успешно применяться практически ко всем задачам анализа текста – часте-речевое тегирование, классификация текстов, выделение именованных сущностей, анализ тональности, машинный перевод, выявление семантических ролей и т.д. Далее рассмотрены некоторые наиболее известные подходы к моделированию различных аспектов естественно-языковых текстов на основе нейросетей. Приведенное деление на группы – условно, поскольку многие нейросетевые модели позволяют характеризовать одновременно несколько различных аспектов языка. Кроме того, некоторые виды моделей языка, например модель семантической разметки FrameNet [7], могут быть отнесены как к грамматическим, поскольку разметка ролей осуществляется в соответствии с заданными правилами (по сути, грамматикой), так и к семантическим, поскольку задают интерпретацию текста, способную играть роль целевой семантической модели.

Статистическое моделирование ЕЯ-текста

В узком практическом смысле задача статистического моделирования языка трактуется как предсказание слова по заданному контексту его использования, более общая постановка задачи заключается в определении совместных вероятностей последовательностей слов в тексте. Современные нейросетевые модели, ориентированные на подобные задачи, основаны на векторном представлении слов (word embeddings). На данной задаче ИНС показывают лучшую эффективность по сравнению со статистическими моделями языка на базе n-грамм: при том же размере обучающего набора дают более точное предсказание, демонстрируют способность к генерализации контекстов схожих слов [8]. Начало быстрого роста популярности нейросетей в применении к статистическому моделированию ЕЯ-текстов связывают с работой [9], основная идея которой заключается в учете схожести слов при обучении модели и улучшении за счет этого ее генерализирующей способности. Схожесть слов определяется на основе дистрибутивной гипотезы [10], путем их векторного представления. В результате экспериментов с предложенной нейросетевой моделью и «классической» моделью на базе N-грамм, авторы делают выводы об эффективности

использования большего контекста, а также одновременного обучения статистической модели языка и векторной модели слов лексикона (word features).

Успешный опыт построения векторных представлений языковых единиц открыл возможность для более широкого использования нейросетей при анализе текста, поскольку векторные представления слов, с одной стороны – очень удобный формат входной информации для ИНС, осуществляющих более глубокое моделирование текста, а с другой – содержат в себе информацию о семантике языковой единицы (в соответствии с дистрибутивной гипотезой). Основным сдерживающим фактором, обуславливающим высокую вычислительную сложность нейросетевых моделей, использующих векторные представления языковых единиц – высокая размерность и разреженность векторного пространства. Одним из способов решить эту проблему является алгоритм SGNS (skip-gram with negative sampling), обеспечивающий формирование плотного векторного представления слов с помощью обученного нейросетевого классификатора. Алгоритм является частью популярного пакета Word2Vec [11] и широко используется в различных задачах анализа ЕЯ-текстов. Пример применения Word2Vec-модели для русского языка – проект RusVectors [12].

Альтернативной Word2Vec моделью, объединяющей подходы к формированию векторных представлений слов на базе контекстного окна и матричных разложений, является GloVe [13]. Совмещение двух («предсказательного», как в Word2Vec и «вычислительного», как в LSA) подходов к обучению модели позволило, с одной стороны, более точно отразить дистрибутивную семантику слов за счет учета глобальной статистики попарной встречаемости слов и обеспечить более высокую в сравнении с другими моделями производительность GloVe на задачах выявления аналогий между словами, выявления схожих слов, распознавания именованных сущностей.

Таким образом, ИНС обеспечивают эффективное решение задачи векторного представления слов и статистического моделирования на их основе естественно-языковых текстов. Однако, у векторного представления есть и ограничения:

- Если в аналитических языках, типа английского, смысл слова зависит от контекста (в пределах самого слова нет указаний на грамматический класс) и это хорошо рефлексировано векторной моделью, то в языках с богатой морфологией, в частности – русском, слово само по себе, в зависимости от формы, может содержать много дополнительной информации (род, падеж) вне зависимости от синтаксической конструкции, в которой фигурирует [14]. Такая информация упускается при векторном представлении.

- Проблема размерности, несмотря на появление способов получения «плотных» векторных представлений, не решена кардинально и остается актуальной для языков с объемным лексиконом, препятствуя формированию адекватных практическим задачам векторных представлений всех возможных слов. Кроме того, большинство языков – динамичны и постоянно пополняются новыми словами – неологизмами, заимствованиями и т.д.

Общего решения этих проблем не существует, применимые на практике подходы зависят от конкретного языка. Для этого используют непосредственно последовательности символов вместо векторов, дополняют векторы компонентами, характеризующими фонетику слов и другие подходы. Например,

в работе [15] векторная модель обучается не только на элементах лексикона, но и на так называемых «под-словах», представляющих собой фрагменты исходного. За счет этого удается строить эффективные векторные представления слов в языках с богатой морфологией.

Дистрибутивный подход к описанию семантики текста применяется и по отношению к более крупным, нежели отдельные слова, объектам – параграфам и даже документам. Так, в работе [16] рассматривается схожая с Word2Vec технология формирования векторного представления текста произвольной длины – от отдельного предложения до документа в целом. Авторы дополнили вектор признаков (в Word2Vec это – «окно» из векторов нескольких соседних по тексту слов) компонентом, характеризующим некоторый блок текста (параграф) целиком. За счет этого удалось получить лучшую в сравнении с аналогами точность работы алгоритма в задачах определения тональности и классификации текстов. Основанные на данном подходе нейросетевые модели получили название Paragraph2Vec и Doc2Vec.

Грамматические модели

Наряду с построением статистических моделей ЕЯ-текстов, ИНС находят широкое применение для реализации грамматических моделей. К данной категории можно отнести такие задачи, как моделирование синтаксической структуры предложения (построение синтаксических деревьев), определение частей речи, поверхностный анализ для выявления базовых лексических структур, например, именных групп (shallow parsing, chunking), определение семантических ролей слов.

Основные успехи в этой области связаны с применением глубоких нейронных сетей. Пионерской в этом направлении считается работа [17], где предлагается универсальная модель на основе глубоких нейронных сетей, обеспечивающая решение сразу нескольких задач анализа текста, в «традиционном» случае решаемых отдельно – часте-речевой разметки (part-of-speech tagging), выделения именованных сущностей, определения семантических ролей, выделения семантически схожих слов и оценки осмысленности текста. Такая универсальность обеспечивается за счет применения мультизадачного обучения (multi-task learning), идея которого заключается в учете при обучении модели признаков, значимых в контексте сразу нескольких прикладных задач [18]. Опыт успешного применения мультизадачного обучения для решения различных задач показывает, что за счет этого удастся улучшить генерализующие способности модели [19]. Это можно расценивать как еще одно подтверждение тезиса о целесообразности расширения спектра признаков для улучшения точности нейросетевой модели.

Примером инструмента для эффективного решения задачи построения дерева синтаксического разбора является нейросетевая фреймворк Syntaxnet от компании Google, обеспечивающий синтаксический разбор (в виде дерева зависимостей) и часте-речевую разметку слов в предложении. Используемые в текущей версии Syntaxnet модели являются символьными (анализируются не слова, а последовательности символов, разделенные пробелами и знаками препинания), что обеспечивает эффективность технологии в том числе и для анализа морфологически богатых языков, в частности – русского [20]. Фреймворк основан на рекуррентной сети с адаптивной архитектурой, обеспечивающей

эффективное решение задач синтаксического разбора и экстрактивного реферирования [21].

Семантическое моделирование на основе ЕЯ-текстов

Искусственные нейронные сети также широко применяются для моделирования различных аспектов семантики ЕЯ-текста. Результаты моделирования могут использоваться как в качестве компонентов целевой семантической модели, так и в качестве признаков текста, используемых затем для построения итоговой модели (термин «семантика» здесь понимается в широком смысле – эквивалентные понятия и свойства языковых конструкций, близкие к ментальным моделям человека). Спектр задач данной категории очень широк, практически для всех из них существуют решения, основанные на ИНС. К задачам семантического анализа текста, результат решения которых может использоваться для формирования признакового пространства при построении целевой семантической модели текста, можно отнести: моделирование тематики (topic modeling) [22; 23]; сентимент-анализ (анализ тональности или эмоциональной окраски) [24–26]; выявление семантических ролей [27; 28].

Как упоминалось выше, некоторые из рассмотренных моделей ЕЯ-текста могут играть роль целевой семантической модели. В частности, к таковым можно отнести модели, используемые в рамках задачи семантико-ролевой разметки (semantic roles labeling). В рамках существующих подходов к определению семантических ролей осуществляется не только выделение лексических единиц, обозначающих понятия, но и идентификация с ними некоторых семантических или тематических ролей из заданного множества. Общий подход к решению этой задачи основан на контролируемом машинном обучении, а в качестве основы для обучающей выборки используются библиотеки размеченных текстов [8]. Наиболее известными проектами, предлагающими такие библиотеки, являются PropBank [29] и FrameNet [30]. В первом проекте семантическими ролями аннотируются отдельные слова, во втором – более сложные конструкции – семантические фреймы. Для русского языка поддерживается проект, аналогичный FrameNet – FrameBank [31].

Вместе с тем, наиболее универсальным и распространенным способом реализации семантических моделей предметной области для решения практических задач с применением компьютера являются онтологии [32]. Формирование онтологий на основе текстов на естественном языке включает несколько этапов [33]:

- предобработка (лемматизация, часте-речевая разметка);
- извлечение понятий;
- извлечение отношений;
- формирование аксиом;
- оценка качества.

Для решения перечисленных задач также широко используются ИНС. Например, в работе [34] предложена технология формирования онтологии на основе текстовых данных (веб-ресурсов) из различных предметных областей, использующая модели машинного обучения, в частности – ИНС. В работах [35; 36] рассматриваются основанные на нейросетевых моделях технологии извлечения из ЕЯ-текстов парадигматических и деонтических высказываний. В работе [37] предложена технология автоматического извлечения новых

технологических понятий из текстов, основанная на нейронных сетях. Вместе с тем, рассмотренные работы представляют собой примеры решения, в основном, частных задач построения онтологий, поэтому потенциал использования глубоких нейронных сетей в задачах формирования онтологий на базе ЕЯ-текстов далеко не исчерпан.

Заключение

Семантический анализ текста является сложной многоаспектной задачей, включающей два укрупненных этапа – определение признаков текста, в соответствии с используемой моделью признаков, и формирование на их основе представленного в тексте фрагмента целевой семантической модели.

Искусственные нейронные сети, как сети прямого распространения, так и глубокие ИНС, успешно применяются для решения большинства задач семантического анализа текста. Вместе с тем, имеется потенциал как к повышению эффективности существующих нейросетевых подходов к семантическому анализу текстов, так и к расширению областей их применения в контексте задачи семантического моделирования предметных областей. Основной потенциал к повышению эффективности применения ИНС содержится в формировании качественного (адекватно отражающего значимые свойства предметной области через языковые конструкции) признакового пространства и использовании архитектур ИНС, обеспечивающих обработку разнородных признаков.

Литература

1. Al-Aswadi F.N. Automatic ontology construction from text: a review from shallow to deep learning trend / F.N. Al-Aswadi, H.Y. Chan, K.H. Gan // *Artificial Intelligence Review*. – 2020. – Vol. 53. – № 6. – pp. 3901-3928.
2. Бирюков Б.В. Теория смысла Готлоба Фреге / Бирюков Б.В. // *Применение логики в науке и технике*. – М: Издательство Академии наук СССР, 1960. – С. 502-555.
3. Melnikov A.V. On usage of machine learning for natural language processing tasks as illustrated by educational content mining / A.V. Melnikov, D.S. Botov, J.D. Klenin // *Онтология проектирования*. – 2017. – Vol. 7. – № 1 (23). – pp. 34-37.
4. What are semantic annotations / E. Oren [и др.] // <http://www.siegfried-handschuh.net/pub/2006/whatissemannot2006.pdf>. – 2006.
5. Возможности интеллектуального анализа научных текстов на основе построения их когнитивных моделей / Г.С. Осипов [et al.] // *Искусственный Интеллект И Принятие Решений*. – 2018. – № 1. – С. 41-53.
6. Song F. A General Language Model for Information Retrieval / F. Song, W. Croft // *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*. – 2000.
7. Boas H.C. From Theory to Practice: Frame Semantics and the Design of FrameNet / H.C. Boas // *Semantisches Wissen im Lexikon* / eds. S. Langer, D. Schnorbusch. – Tübingen: Narr., 2005.
8. Jurafsky D. *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. Vol. 2 / D. Jurafsky, J. Martin. – 2008.

9. Bengio Y. A Neural Probabilistic Language Model / Y. Bengio, R. Ducharme, P. Vincent // *Journal of Machine Learning Research*. – 2003. – Vol. 3. – P. 1137–1155.
10. Sahlgren M. The distributional hypothesis / M. Sahlgren // *Italian Journal of Linguistics*. – 2008. – Vol. 20. – pp. 33-53.
11. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space / T. Mikolov [et al.] // *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR 2013)*. – 2013. – pp. 1-12.
12. RusVectōrēs: О проекте [Электронный ресурс]. – URL: <https://rusvectors.org/ru/> (дата обращения: 08.12.2020).
13. Pennington J. Glove: Global Vectors for Word Representation / J. Pennington, R. Socher, C. Manning // *EMNLP Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. – 2014. – Vol. 14. – pp. 1532-1543.
14. Савинова А.О. Языки аналитические и синтетические / А.О. Савинова, Н.Д. Решетникова // *Молодой ученый*. – 2013. – № 59. – pp. 873-877.
15. Enriching Word Vectors with Subword Information / P. Bojanowski [et al.] // *Transactions of the Association for Computational Linguistics*. – 2016. – Vol. 5. – pp. 135–146.
16. Le Q. Distributed Representations of Sentences and Documents / Q. Le, T. Mikolov // *31st International Conference on Machine Learning, ICML 2014*. – 2014. – Vol. 32. – pp. 1188-1196.
17. Collobert R. A unified architecture for natural language processing: Deep neural networks with multitask learning / R. Collobert, J. Weston // *Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning*. – 2008. – P. 160-167.
18. Caruana R. Multitask Learning / R. Caruana // *Machine Learning*. – 1997. – Vol. 28. – № 1. – pp. 41-75.
19. Ruder S. An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks / S. Ruder // *arXiv:1706.05098 [cs, stat]*. – 2017.
20. Weiss D. An Upgrade to SyntaxNet, New Models and a Parsing Competition / D. Weiss, S. Petrov. – 2017.
21. DRAGNN: A Transition-based Framework for Dynamically Connected Neural Networks / L. Kong [et al.] // *arXiv:1703.04474 [cs]*. – 2017. – DRAGNN.
22. A novel neural topic model and its supervised extension / Z. Cao [et al.] // *Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence*. – Citeseer, 2015.
23. Wang X. Neural Topic Model with Attention for Supervised Learning / X. Wang, Y. Yang // *AISTATS Twenty Third International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, PMLR*. – 2020. – pp. 1147-1156.
24. Recommendation system exploiting aspect-based opinion mining with deep learning method / A. Da'u [et al.] // *Information Sciences*. – 2020. – Vol. 512. – pp. 1279-1292.
25. Wang X. Combination of Convolutional and Recurrent Neural Network for Sentiment Analysis of Short Texts / X. Wang, W. Jiang, Z. Luo // *Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers COLING 2016*. – Osaka, Japan: The COLING 2016 Organizing Committee, 2016. – pp. 2428–2437.
26. Comparison of neural network architectures for sentiment analysis of Russian tweets / K. Arkhipenko [et al.] // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies*

- Proceedings of the Annual International Conference —Dialogue Computational Linguistics and Intellectual Technologies. – 2016. – pp. 50-58.
27. Semantic Role Labeling with Pretrained Language Models for Known and Unknown Predicates / D. Larionov [et al.] // Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing (RANLP 2019). – Varna, Bulgaria: INCOMA Ltd., 2019. – pp. 619–628.
 28. Guan C. Semantic Role Labeling with Associated Memory Network / C. Guan, Y. Cheng, H. Zhao // arXiv:1908.02367 [cs]. – 2019.
 29. Palmer M. The Proposition Bank: An Annotated Corpus of Semantic Roles / M. Palmer, P. Kingsbury, D. Gildea // Computational Linguistics. – 2005. – Vol. 31. – pp. 71-106.
 30. About FrameNet | fndrupal [Электронный ресурс]. – URL: <https://framenet.icsi.berkeley.edu/fndrupal/about> (дата обращения: 05.12.2020).
 31. Кашкин Е. Семантические роли и сеть конструкций в системе FrameBank / Кашкин Е., Ляшевская О.Н. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» (Бекасово, 29 мая - 2 июня 2013 г.). В 2-х т. : 12 : in 2 vols. / publisher: РГГУ. – М: РГГУ, 2013. – Vol. 1. – 19. – pp. 325-343.
 32. Gruber T.R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? / T.R. Gruber // International journal of human-computer studies. – 1995. – Vol. 43. – № 5-6. – pp. 907–928.
 33. A survey of ontology learning techniques and applications / M.N. Asim [et al.] // Database. – 2018. – Vol. 2018.
 34. Guruvayur S.R. Development of a Machine Learning Model for Knowledge Acquisition, Relationship Extraction and Discovery in Domain Ontology Engineering using Jaccord Relationship Extraction and Neural Network / S.R. Guruvayur, R. Suchithra // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8. – № 3. – pp. 7809-7817.
 35. Dikovitsky V.V. Automated Extraction of Deontological Statements Through a Multilevel Analysis of Legal Acts / V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev // Computational and Statistical Methods in Intelligent Systems : Advances in Intelligent Systems and Computing / eds. R. Silhavy, P. Silhavy, Z. Prokopova. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – pp. 102-110.
 36. Dikovitsky V.V. Automated Extraction of Paradigmatic Relationships from Natural Language Texts on the Basis of the Complex of Heterogeneous Features / V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev // Intelligent Algorithms in Software Engineering : Advances in Intelligent Systems and Computing / ed. R. Silhavy. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – pp. 531-541.
 37. Hossari M. TEST: A Terminology Extraction System for Technology Related Terms / M. Hossari, S. Dev, J.D. Kelleher // Proceedings of the 2019 11th International Conference on Computer and Automation Engineering : ICCAE 2019 / event-place: Perth, WN, Australia. – New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. – pp. 78-81.

СТАТЬИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДОКЛАДОВ

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.009

УДК 005

В.П. Авдоткин¹, А.А. Кононов¹, А.К. Поликарпов^{1,2}, К.В. Черныш²

¹ Москва, РУДН

² Москва, ФИЦ ИУ ИСА

РАНКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ МЕЖСИСТЕМНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ *

Аннотация

В работе рассматриваются особенности использования критериальных моделей в управлении безопасностью межсистемных взаимодействий критических инфраструктур. Критериальное моделирование и основывающаяся на нем оценка критериальных рисков обеспечивают предупреждение когнитивных искажений и заблуждений в оценке состояния безопасности и наличии возможных уязвимостей критических инфраструктур на урбанизированных территориях. В рамках представленного подхода предполагается комбинированное использование аппарата теории множеств и разработанного специального аппарата критериального моделирования. Приведены примеры решения практических задач контроля безопасности с использованием постоянно развиваемых и совершенствуемых, по ходу проводимых исследований, программных комплексов автоматизации применения критериального моделирования для управления безопасностью на урбанизированных территориях.

Ключевые слова:

критические инфраструктуры, критическая информационная инфраструктура, критериальное моделирование, критериальные риски, управление безопасностью, когнитивные заблуждения, уязвимости

V.P. Avdotin, A.A. Kononov, A.K. Polikarpov, K.V. Chernysh

¹ Moscow, RUDN University

² Moscow, Institute for Systems Analysis, RAS

CRITERIA MODELS FOR SECURITY MANAGEMENT OF INTERSYSTEM INTERACTIONS OF CRITICAL INFRASTRUCTURES IN URBANIZED TERRITORIES

Abstract

The paper considers the features of using criteria models in security management of intersystem interactions of critical infrastructures. Criteria-based modeling and evaluation of criteria-based risks prevent cognitive distortions, biases and errors in the assessment of the state of security and the presence of possible vulnerabilities in critical infrastructures of urbanized areas. Within the framework of the presented approach, the combined use of apparatus of the set theory and the developed special apparatus of criteria-based modeling is proposed. Examples of solving practical problems of security control with the use of constantly developing and improving, in

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 20-010-00812 А).

the course of research, software systems for automating the application of criteria modeling for security management in urban areas are given.

Keywords:

critical infrastructure, critical information infrastructure, criteria-based modeling, criteria-based risks, security management, cognitive biases, vulnerabilities.

Настоящий этап развития общества, экономики, производственных сил и производственных отношений можно характеризовать как время интенсивной цифровизации. С этим связана та особая значимость таких двух важнейших направлений, обеспечения безопасности, как безопасность критических информационных инфраструктур и безопасность персональных данных. Это находит свое выражение, в частности, в развитии законодательной и нормативно-правовой базы.

Что касается безопасности критических инфраструктур, то принятый в июле 2017 г. Федеральный закон № 187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», который вступил в силу с 1 января 2018 года, определил, что под критической информационной инфраструктурой (далее – КИИ) понимаются информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления субъектов КИИ, а также сети электросвязи, используемые для организации их взаимодействия. Субъектами КИИ являются предприятия и организации, работающие в стратегически важных для государства областях, таких как здравоохранение, наука, транспорт, связь, энергетика, банковская сфера, топливно-энергетический комплекс, атомная энергетика, оборонная, ракетно-космическая, горнодобывающая, металлургическая и химическая промышленность, а также организации, обеспечивающие взаимодействие систем или сетей КИИ. Таким образом, фактически определены основные области межсистемных взаимодействий критической информационной инфраструктуры и критически важных инфраструктур деятельности общества и государства.

В то же время, когда речь заходит о расположении такого рода критических инфраструктур, о которых говорится в 187-ФЗ, то фактически всегда речь идет об урбанизированных территориях, и безопасность функционирования на этих территориях зависит и от уровня обеспечения безопасности персональных данных, поскольку нарушение их безопасности может приводить к неограниченным возможностям нарушителей по разрушению критических инфраструктур путем использования незаконно полученных персональных данных. В частности и поэтому столь высокую значимость приобретает исполнение законодательства по персональным данным, зафиксированное в Федеральном законе РФ от 27 июля 2006 года № 152-ФЗ «О персональных данных» и в подзаконной нормативно-правовой базе этого закону.

Общее количество требований, которые необходимо выполнить, чтобы соответствовать нормам законодательства, определенным в 187-ФЗ, 152-ФЗ и в их подзаконных актах, чтобы тем самым обеспечить безопасность критических инфраструктур, с учетом того, что эти требования должны быть разнесены и привязаны к тысячам структурных составляющих критических инфраструктур, может достигать значений в десятки и сотни тысяч.

Решение этой задачи облегчается, если использовать аппарат критериального моделирования и автоматизирующее его применение программное обеспечение.

В парадигме критериального моделирования любое требование рассматривается в качестве критерия. Значимость каждого критерия, а также степень его выполнения оцениваются по 100-балльным шкалам. Оценки значимости и степени выполнения могут формироваться как в автоматическом режиме на основе обработки собираемых с датчиков, или иных источников, данных, в том числе больших данных, либо экспертным путем. Критериальные риски 1-го вида выявляются по результатам периодически проводимого контроля полноты критериальных моделей, если эти модели оказываются не полны. На основе оценок выполнения критериев рассчитываются оценки критериальных рисков 2-го вида. Разработан обширный аппарат получения агрегированных оценок критериальных рисков, с учетом иерархичности и территориальной распределенности критических инфраструктур, а также аналитических результатов, позволяющих обеспечить высокую эффективность управления и предупредить возникновение когнитивных заблуждений и искажений в оценке уровня безопасности и наличия уязвимостей в критических инфраструктурах и в их межсистемных взаимодействиях [1-5]. Методики получения и алгоритмы расчета такого рода оценок неоднократно приводились во множестве научных публикаций по критериальному моделированию [6-9].

Для автоматизации критериального моделирования в управлении безопасностью на разработано и постоянно совершенствуется программное обеспечение «РискДетектор» (<http://srisks.ru/>), заложенные в нем теоретические и методологические решения, уже прошли апробацию на множестве критически важных объектов и критических инфраструктур, в частности, в Банке России на основе опыта их внедрения и использования были созданы стандарты СТО БР ИББС, с помощью которых сегодня обеспечивается информационная безопасность всей банковской системы России. Так же совершенствуется экспериментальный макет национальной веб-службы контроля рисков [10], с целью дать возможность представителям любых организаций и предприятий, оценить, какие преимущества они могут получить, начав контролировать основательность безопасности на своих объектах. Цель использования методологии критериального моделирования - парировать саму возможность крупных аварий, техногенных и антропогенных катастроф на предприятиях и в организациях, где она применяется.

Особенность использования методологии критериального моделирования для управления безопасностью межсистемных взаимодействий критических инфраструктур состоит в том, что необходимо помимо структурных моделей самих взаимодействующих критических инфраструктур выстраивать структурную модель связывающих их процессов и критериальную модель этих процессов. Это требует доработки математического аппарата и программного обеспечения, работа над которыми ведется в настоящее время.

Литература

1. Кононов А.А. Проблема когнитивных искажений в управлении безопасностью больших систем и пути ее решения // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Труды XXV Международной научной конференции. Москва, 20 декабря 2017 г. – Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2017. - С. 248 - 251.
2. Кононов А.А., Авдотьин В.П. Проблема когнитивных искажений в оценке опасности угроз и рисков природных и техногенных катастроф // Глобальная

- и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. Материалы международного конгресса. 7 июня 2017 года, Ногинск, Россия. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2017. С. 106-112.
3. Кононов А.А. Проблемы когнитивных искажений в оценке готовности муниципальных образований обеспечить устойчивость к чрезвычайным ситуациям // Проблемы анализа риска. - Том 15, 2018, № 1. – С. 48-52.
 4. Кононов А.А. О необходимости признания задач предупреждения когнитивных искажений неотъемлемой составляющей обеспечения информационной безопасности критически важных объектов и критических инфраструктур // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра. Международная научно-практическая конференция (г. Москва, 12 апреля 2018 г.) [Текст]: сборник статей / Российский государственный гуманитарный университет РГГУ. – М.: РГГУ, 2018. – С. 51-58.
 5. Кононов А.А., Поликарпов А.К., Черныш К.В. Использование критериального моделирования для снижения когнитивных искажений в оценке рисков уязвимостей в больших системах критических инфраструктур // Седьмая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ – 2017 (13 – 18 июня 2017 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017. – С. 405-411.
 6. Черныш К.В., Кононов А.А. Индикативная оценка рисков на критериальных моделях критически важных объектов и критических инфраструктур // XI Всероссийская конференция "Методологические проблемы управления макросистемами" (Апатиты, 26 марта- 3 апреля 2016 года.). Материалы докладов. - Апатиты: КНЦ РАН, 2016. – С. 86-89
 7. Кононов А.А., Поликарпов А.К. Методология критериального моделирования для системного анализа и оценки защищенности и уязвимости объектов, процессов и ресурсов на всех стадиях жизненного цикла больших систем // Сборник трудов VII Международной конференции «ИТ-Стандарт 2016» (г. Москва, 6-7 декабря 2016 г.) – Самара: TCDprint, 2016. – С. 126-133.
 8. Кононов А.А., Кулаков П.И., Поликарпов А.К. О методологии критериального моделирования безопасности больших систем, критически важных объектов и критических инфраструктур // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Труды XXIV Международной научной конференции. Москва, 21 декабря 2016 г. – Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2016. – С. 276-279.
 9. Кононов А.А., Поликарпов А.К., Черныш К.В. Формальная схема динамики критериальных моделей и оценки рисков некорректности критериальной базы управления безопасностью больших региональных систем // VII-я Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики» (Апатиты, 27 марта – 2 апреля 2017 г.). Материалы докладов. – Апатиты, КНЦ РАН, 2017. – С. 43-47.
 10. Кононов А.А. О возможностях прогнозирования чрезвычайных ситуаций и мониторинга защищенности населения и территорий от угроз природного и техногенного характера с использованием веб-службы контроля рисков // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. XVI Всероссийская научно-практическая конференция. – 27-28 сентября 2017 г. Сборник материалов. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России. 2017, С. 54-55.

А.М. Альбертьян¹, И.И. Курочкин²

¹ Москва, ФИЦ ИУ ИСА РАН

² Москва, ИППИ РАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ НА УЗЛЕ ГРИД-СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОМБИНАТОРНЫХ ЗАДАЧ*

Аннотация

В работе рассматривается использование специализированных вычислителей Intel Xeon Phi в грид-системе из персональных компьютеров. В качестве примера успешного использования специализированных вычислителей приводится комбинаторная задача по поиску диагональных латинских квадратов. Обсуждаются особенности реализации вычислительного приложения. Приводятся результаты работы вычислительного приложения в многопоточных режимах на различных процессорах и специализированном вычислителе.

Ключевые слова:

грид-система, вычислительные приложения, комбинаторные задачи, многопоточные режимы.

A.M. Albertian, I.I. Kurochkin

¹ Moscow, Institute for Systems Analysis, RAS

² Moscow, Institute for Information Transmission Problems, RAS

USE OF SPECIALIZED COMPUTATIONAL DEVICES ON THE NODE OF THE DESKTOP GRID SYSTEM FOR THE SOLVE OF COMBINATORIAL PROBLEMS

Abstract

The paper discusses the use of specialized Intel Xeon Phi devices in a desktop grid system. As an example of the successful use of specialized devices, the combinatorial problem of finding diagonal Latin squares is given. Features of implementation of the computing application are discussed. The results of work of a computer application in multithreaded modes on different processors and specialized devices are given.

Keywords:

desktop grid, high-throughput computing, high performance computing, multi-threaded modes.

Одним из направлений развития вычислений на грид-системах из персональных компьютеров (ГСПК, англ. desktop grid) является увеличение эффективности использования всех вычислительных ресурсов, предоставляемых каждым из доступных узлов. На данный момент, одним из наиболее популярных способов увеличения производительности систем для высокопроизводительных вычислений (англ. high performance computing, HPC) и грид-систем (англ. high-throughput computing, HTC), является использование в составе вычислительного узла специализированных вычислителей. Обычно подобные вычислительные ускорители представляют собой отдельные устройства, подключаемые к вычислительному узлу посредством внутренней широкополосной шины

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований грант №18-29-03264.

передачи данных или, реже, с использованием внешних интерфейсов. В качестве специализированных высокопроизводительных вычислителей чаще всего используются следующие решения:

1. Использование вычислений на установленных в системе графических ускорителях – GPGPU (англ. general-purpose computing on graphics processing units);
2. Добавление в качестве вычислителей специализированных ускорителей на базе различных графических архитектур, таких как NVIDIA Tesla, AMD FirePro и др.;
3. Использование специализированных ускорителей стандартной архитектуры, например, Intel MIC [1];
4. Использование различных специализированных вычислительных ускорителей для решения относительно узкого круга задач, например, Intel Neural Compute Stick и т.п.;
5. Реализация наиболее трудоемких алгоритмов и отдельных подзадач в виде логических блоков на ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема, англ. field-programmable grid array, FPGA) [2].

Наиболее часто для высокопроизводительных вычислений на ГСПК используются именно GPGPU, так как использование графического ускорителя в вычислительном узле является не только эффективным способом повышения производительности грид-системы, но и позволяет повысить эффективность работы на вычислительном устройстве во множестве других задач, не связанных с распределенными вычислениями. Тем не менее, использование GPGPU для вычислений на узлах ГСПК сталкивается с некоторыми существенными трудностями, в том числе:

- Общие аппаратные ограничения GPGPU: специализированная архитектура, весьма существенно отличающаяся от архитектуры универсальных процессоров, ограниченный объем непосредственно адресуемой оперативной памяти, доступной графическому процессору (англ. graphics processing unit, GPU), относительно медленная передача данных между основной системой и GPU;
- Отсутствие возможности эффективной реализации используемых вычислительным приложением алгоритмов на архитектуре GPU;
- Необходимость существенной доработки алгоритмов, структур данных и внутренних взаимодействий между компонентами вычислительного приложения для оптимального использования ресурсов GPU;
- Наличие достаточно большого количества несовместимых между собой программных платформ с различными программными интерфейсами приложения – OpenCL (англ. open computing language, открытый язык для вычислений), NVIDIA CUDA (англ. compute unified device architecture) и др., причем, в случае ГСПК, может потребоваться установка определенных версий этого специализированного программного обеспечения (ПО) на все узлы распределенной системы.

Использование специализированных вычислительных ускорителей в составе ГСПК все еще является скорее исключением, чем правилом, так как они зачастую значительно дороже обычных графических ускорителей и их использование ограничено задачами высокопроизводительных вычислений и некоторыми специфическими приложениями, достаточно редко используемыми

на обычных ПК, которых в ГСПК подавляющее большинство. Тем не менее, использование специализированных ускорителей стандартной архитектуры, таких как Intel Xeon Phi, основанных на архитектуре Intel MIC (англ. many integrated core) [1], представляющей из себя расширенный вариант стандартной архитектуры Intel 64 (x86-64), имеет множество весьма существенных достоинств [3], по сравнению с GPGPU:

- Возможность несложной адаптации вычислительного приложения, позволяющей задействовать ускоритель (ускорители) только в случае их обнаружения в составе узла ГСПК и использующего стандартные многопоточные вычисления на основном процессоре системы вместо (или вместе с ускорителями) в остальных случаях, при этом зависимость приложения от дополнительного специального ПО минимальна;

- Наличие общих методов оптимизации вычислительного приложения при его работе на центральном процессоре (ЦП) вычислительного узла и на ускорителе со стандартной архитектурой, аналогичной архитектуре ЦП, во многих случаях возможно использование существующего программного кода с минимальной модификацией;

- Полная интеграция используемых средств разработки для Intel MIC со средствами разработки для вычислительного узла, с теми же самыми возможностями для оптимизации, отладки и профилировки вычислительного приложения, при этом используется практически тот же самый компилятор, библиотеки, утилиты, что и при разработке приложения для ЦП;

- При этом используемые в качестве основного средства разработки программные продукты Intel Parallel Studio XE [4] предоставляют одни из наиболее эффективных средств оптимизации приложений для всех целевых архитектур.

Основным принципом оптимизации приложения при исполнении его на ЦП совместно с ускорителями Intel Xeon Phi, является эффективное распределение параллельных вычислительных потоков между небольшим количеством относительно высокопроизводительных ядер/потоков ЦП и большим количеством менее производительных ядер/потоков ускорителей. При этом желательно учитывать особенности всех используемых архитектур и максимально задействовать дополнительные возможности, предоставляемые блоками SIMD (англ. single instruction, multiple data – одиночный поток команд, множественный поток данных), особенно в случае сопроцессоров Intel Xeon Phi, поддерживающих SIMD разрядностью 512 бит (KNC SIMD) и т.п. Базовые возможности средств разработки Intel Parallel Studio XE позволяют реализовать в виде единого исполняемого файла общее универсальное вычислительное приложение, изначально оптимизированное под все необходимые архитектуры и прозрачно для пользователя использующее все архитектурные возможности вычислительного узла. Сопроцессоры с архитектурой Intel MIC позволяют использовать различные архитектурные модели вычислительного приложения – выгрузка части исполняемого приложения на сопроцессор (англ. offload), выполнение только на сопроцессоре (англ. co-processor only), симметричное выполнение на ЦП и сопроцессоре (англ. symmetric) и т.д., с использованием различных API – OpenMP (англ. open multi-processing, открытый стандарт многопроцессорной обработки), MPI (англ. message passing interface, интерфейс

передачи сообщений), OpenCL и др. Это позволяет создать максимально переносимое вычислительное приложение для работы на узлах ГСПК в рамках проекта добровольных распределенных вычислений (ДРВ) на платформе BOINC[5], удовлетворяющее всем необходимым требованиям:

- Максимальная переносимость приложения для обеспечения его работы под управлением всех популярных на ПК операционных систем (ОС);
- Гибкая настройка приложения для максимально эффективного использования всех доступных ресурсов вычислительного узла;
- Оптимизация приложения, структур данных и используемых алгоритмов в целях повышения производительности для всех поддерживаемых архитектур и максимального использования предоставляемых ими возможностей;
- Минимизация зависимостей вычислительного приложения от установленного на вычислительном узле дополнительного ПО;
- Возможность адаптации приложения для использования его на других архитектурах.

В качестве вычислительной задачи, для демонстрации возможностей сопроцессоров Intel Xeon Phi, была реализована одна из задач поиска ортогональных диагональных латинских квадратов (ОДЛК). Был использован оптимизированный комбинаторный алгоритм нахождения канонических форм (КФ) всех марьяжных диагональных латинских квадратов (ДЛК) 10 порядка, изоморфных заданным латинским квадратам (ЛК) [6]. Латинские квадраты и различные их свойства могут быть применены в различных областях: криптография, коды коррекции ошибок, задачи планирования и т.д.

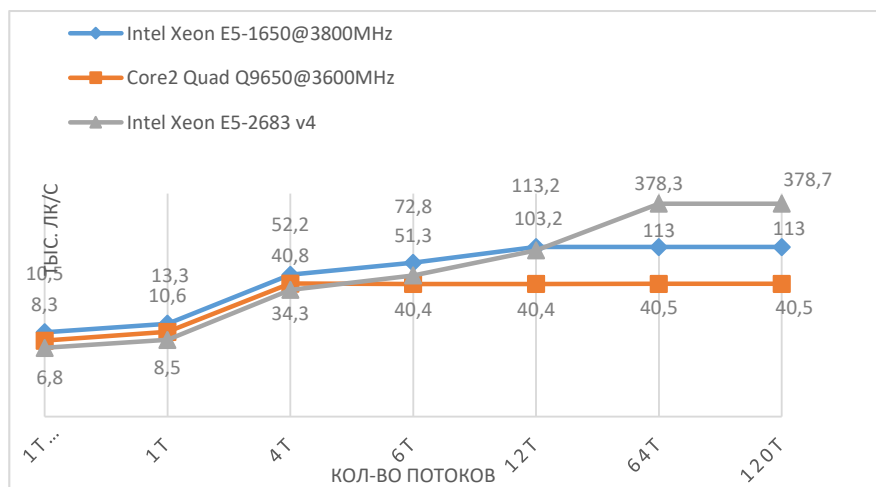


Рис.1. Результаты оптимизации многопоточного приложения для различных процессоров

После исследования различных вариантов, было принято решение реализовать вычислительное приложение в виде единого исполняемого файла, включающего в себя различные варианты оптимизации под различные архитектуры, в том числе оптимизированные блоки, предназначенные для выгрузки на ускорители с

архитектурой Intel MIC. Минимизация зависимостей вычислительного приложения от предустановленного ПО была реализована за счет использования в приложении исключительно возможностей языка C++ (ISO/IEC 14882:2011) и его стандартных библиотек, в том числе: поддержка многопоточности, объекты синхронизации, атомарные переменные и т.д., а также за счет ручной оптимизации выгрузки отдельных вычислительных потоков и сопутствующих структур данных на сопроцессоры, при их наличии. Все выгружаемые на сопроцессоры функции и структуры данных дополнительно оптимизированы для работы на архитектуре Intel MIC, то есть используют оптимальное, с точки зрения обращений к памяти и кэшу, выравнивание данных, задействуют Intel KNC SIMD, учитывают наличие большого количества вычислительных ядер с поддержкой одновременной многопоточности (англ. simultaneous multithreading, SMT) и ограниченной производительностью, относительно небольшой объем доступной оперативной памяти и достаточно медленную передачу данных между основной системой и сопроцессорами по шине PCIe.

Оптимизация оригинального однопоточного приложения в среднем позволила улучшить производительность на 25%. Дальнейшая оптимизация циклов, синхронизации и работы с потоками, организации структур данных и т.п. при реализации многопоточной обработки повысила многопоточную производительность еще почти в полтора раза[7]. Общая производительность, по сравнению с исходной однопоточной версией, увеличилась более чем в 10 раз для 12 потоков SMT (Intel Hyper-Threading) на 6 ядрах процессора Intel Xeon E5-1650 и практически линейно зависит от однопоточной производительности целевого процессора и количества задействованных вычислительных ядер и потоков (см. Рис.1). Использование в составе вычислительного узла ГСПК с наиболее распространенными сейчас характеристиками центрального процессора (6 вычислительных ядер и 12 потоков) сопроцессора Intel Xeon Phi позволит для данной комбинаторной задачи увеличить эффективность вычислений в несколько раз. При этом методы оптимизации, используемые для многопоточного приложения, предназначенного для выполнения на сопроцессоре с архитектурой Intel MIC, оказываются весьма эффективны, в том числе и при выполнении приложения на современном многоядерном центральном процессоре серверного класса.

Литература

1. Rezaur Rahman Intel Xeon Phi Coprocessor Architecture and Tools, ISBN: 978-1-4302-5927-5, Apress, 2013.
2. Vanderbauwhede W., Benkrid K. High-Performance Computing Using FPGAs. // Springer, 2013. – 803 p.
3. James Jeffers, James Reinders Intel Xeon Phi Processor High Performance Programming // ISBN: 978-0-12-410414-3, Morgan Kaufmann, 2013. – 432 p.
4. Stephen Blair-Chappell Parallel Programming with Intel Parallel Studio XE, ISBN: 978-0-4708-9165-0, Wrox, 2012. – 552 p.
5. Anderson D. P. BOINC: A platform for volunteer computing // Journal of Grid Computing. – 2019. – pp. 1-24.
6. Vatutin E., Belyshev A., Kochemazov S., Zaikin O., Nikitina N. Enumeration of isotopy classes of diagonal Latin squares of small order using volunteer computing // Communications in Computer and Information Science. Vol. 965. Springer, 2018. pp. 578–586. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_49.

7. Альбертьян А.М., Курочкин И.И. Использование сопроцессоров Intel Xeon Phi в грид-системах из персональных компьютеров // CEUR-Proceedings: Selected Papers of the II Intern. Sci. Conf. "Convergent Cognitive Information Technologies", Moscow, Russia, Nov. 24-26 2017, Vol.2064, pp. 196-201.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.011
УДК 004.89, 62-932.2

Е.В. Балбукова^{1,2}

¹ Апатиты, ИИММ ФИЦ КНЦ РАН

² Санкт-Петербург, Учебный центр ПАО «ТГК-1»

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА

Аннотация

При эксплуатации тепловой электростанции (ТЭС) большое значение имеет обеспечение надежности и безопасности предприятия при минимизации затрат на техническое обслуживание и ремонты оборудования. Применяемая в настоящее время стратегия планово-профилактических ремонтов заключается в осуществлении периодических работ в заранее установленные сроки, независимо от технического состояния оборудования. При этом не учитываются особенности наработки, неоднородные нагрузки и, следовательно, различный износ оборудования. Практически всегда имеет место эпизодическое отклонение параметров эксплуатации конкретного оборудования от номинальных значений, что приводит к интенсификации процессов износа и тем самым уменьшению остаточного ресурса данного оборудования. Поэтому актуальной является задача создания средств информационно-аналитической поддержки планирования ремонтных и профилактических работ на основе оценки и прогнозирования состояния оборудования с использованием данных оперативного мониторинга и компьютерного моделирования. В настоящей работе рассмотрена постановка задачи создания информационной системы оценки и прогнозирования состояний энергетического котла как одного из ключевых узлов ТЭС.

Ключевые слова:

теплоэнергетическое оборудование; планово-профилактический ремонт; энергетический котел; мониторинг; прогноз состояния; компьютерная модель, информационная система.

E.V. Balbukova

¹ Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

² Saint Petersburg, TGC-1 Training Center

THE PROBLEM STATEMENT OF AN INFORMATION SYSTEM CREATION FOR EVALUATING AND FORECASTING THE STATES OF THE POWER BOILER

Abstract

When operating a thermal power plant (TPP), it is of great importance to ensure the reliability and safety of the enterprise while minimizing the cost of maintenance and repair of equipment. The currently used strategy for preventive maintenance is to carry

out periodic work at predetermined times, regardless of the technical condition of the equipment. At the same time, the operating time features, heterogeneous loads and, consequently, various equipment wear are not taken into account. Almost always there is an episodic deviation of the operating parameters of a particular equipment from the nominal values, which leads to an intensification of the wear processes and thereby a decrease in the residual life of this equipment. Therefore, the urgent task is to create tools for information and analytical support for planning repair and maintenance work based on the assessment and prediction of the condition of equipment using data from operational monitoring and computer modeling. In this paper, we pose the problem of creating an information system for assessing and predicting the states of an energy boiler as one of the key nodes of a TPP.

Keywords:

heat power equipment; preventive maintenance; energy boiler; monitoring; state forecast; computer model; information system.

Формулирование задачи контроля технического состояния энергетического оборудования

С точки зрения теории надежности и теории сложных систем, котел обладает следующими свойствами: малосерийность большого количества элементов, функциональная избыточность, большая длительность эксплуатации, высокая надежность элементов. Для адекватного прогноза остаточного ресурса энергооборудования необходимо учитывать различные факторы, влияющие на уменьшение срока службы: превышение температуры и давления, уменьшение расхода питательной воды, резкие скачкообразные изменения параметров, показатели водно-химического режима. На тепловых электростанциях предусмотрены мероприятия по контролю и диагностированию технического состояния котла.

Данные методы, в большинстве своем, требуют останова котла для проведения исследований и в период эксплуатации оборудования не могут давать прогноз по остаточному ресурсу на интервале упреждений. Поэтому для рационального планирования планово-предупредительных ремонтов необходимо вести мониторинг эксплуатационных параметров в режиме онлайн и давать прогноз по остаточному ресурсу с учетом возникающих отклонений параметров объекта. Определение технического состояния котла сводится к задаче распознавания текущего состояния, которая в общем случае может быть представлена следующей схемой (рис.1):

Состояние котла можно определить на основе множества контролируемых параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_{N_x})$, где N_x – количество параметров, которые характеризуют техническое состояние объекта в текущий момент времени. В зависимости от установленных датчиков и вида контроля, контролируемые параметры могут быть измеряемыми напрямую или косвенно, порождая множество измеряемых параметров $S = (s_1, s_2, \dots, s_{N_s})$, где N_s – количество измерений. Процесс определения контролируемых параметров заключается в преобразовании множества измеряемых параметров во множество результатов измерений $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{N_y})$, где N_y – количество результатов. Процесс обработки измеренных данных заключается в оценке X^* восстановленных контролируемых параметров на основании множества результатов измерений Y . На основании набора восстановленных контролируемых параметров X^* , множества ограничений $\{V_1, V_2, \dots, V_{Q_i}\}$, априорной информации об объекте и информации,

накопленной за прошедшие моменты времени в процессе контроля принимается решение, в каком состоянии Q_i в данный момент времени находится котел. С использованием этих же данных может решаться задача прогнозирования остаточного ресурса относительно нормального, предкритического и критического режима работы. По сути, это задача прогноза состояния объекта. Кроме текущих и накопленных исходных данных для ее решения необходима математическая модель объекта, позволяющая с известной точностью прогнозировать остаточный ресурс.

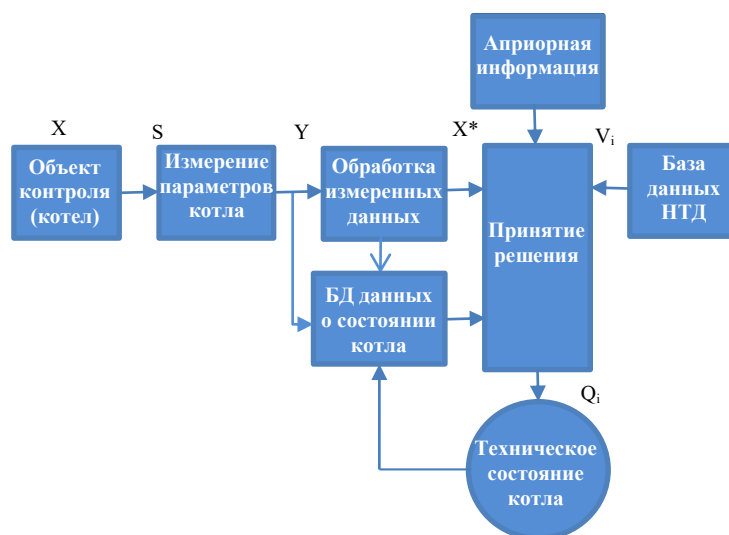


Рис. 1. Структура задачи технического контроля: X – множество контролируемых параметров, S – множество измеряемых параметров (сигналов), Y – множество результатов измерения, X^* – множество восстановленных контролируемых параметров, V_i – множество ограничений на контролируемые параметры для каждого технического состояния, Q_i – одно из возможных технических состояний объекта.

Математическая постановка задачи распознавания технического состояния энергетического котла

Для упрощения процедур распознавания и большей селективности множество контролируемых параметров X может быть заменено соответствующим ему множеством признаков $K = (k_1, k_2, \dots, k_{N_x})$. Значения признаков k_i однозначно определяются значением соответствующего контролируемого параметра x_i на основе заданной функции (правила) $k_i = f(x_i)$. Задача распознавания сводится к построению решающего правила, с помощью которого диагностируемая совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных состояний $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_M\}$.

Для распознавания технического состояния котла представим диагностические признаки в виде системы граничных условий по верхнему X_{\max} и нижнему X_{\min} уровням контролируемого параметра x_i :

$$k_i = f(x_i) = \begin{cases} k_{i1}, & x_i < x_{min-} \\ k_{i2}, & x_{min} < x_i \leq x_{min+} \\ k_{i3}, & x_{min} \leq x_i \leq x_{max} \\ k_{i4}, & x_{max} < x_i \leq x_{max+} \\ k_{i5}, & x_i > x_{max+} \end{cases}$$

где: $x_{min} \leq x_i \leq x_{max}$ – нормальный режим работы; $x_{min-} < x_i \leq x_{min}$ и $x_{max} < x_i \leq x_{max+}$ – предкритические режимы работы; $x_i < x_{min-}$ и $x_i > x_{max+}$ – критические режимы.

С одной стороны, состояние объекта ограничено требованиями к техническим условиям эксплуатации и безопасности, как правило x_{max} . С другой – требованиями к эффективности и экономичности, как правило x_{min} . Значения x_{min} , x_{min+} , x_{max} , x_{max+} определяются из паспорта котла, нормативно-технических документов, инструкций по эксплуатации.

Для построения математической модели распознавания технического состояния котла, следует учитывать, какие средства диагностического контроля установлены (или могут быть установлены) на объекте.

Проведенный анализ паспортной документации, нормативно-технических документов и экспертных заключений, позволили автору определить зависимости между диагностическим признаками и техническим состоянием объекта, на основании которых был сделан вывод, что диагностические признаки имеют разные значения для трех основных режимов работы котла: пуск, стационарный, останов.

Для создания математической модели остаточного ресурса объекта при нормальных условиях эксплуатации определим вероятность безотказной работы объекта на некотором временном интервале. Из теории надежности известно [1,2], что вероятность безотказной работы на момент наблюдения T_k зависит от случайных процессов $v(\tau|T_k)$ в допустимой области $\Omega(T_k)$ на отрезке $(t_k; t]$:

$$P(t|T_k) = P\{v(\tau|T_k) \in \Omega(T_k); \tau \in (t_k; t]\},$$

где: $P(t|T_k)$ – вероятность безотказной работы, T_k – объем накопленной диагностирующей информации о данном котле на отрезке $[t_0; t_k]$, $v(\tau|T_k)$ – случайный процесс, который характеризует изменение параметров в момент наблюдения T_k , $\Omega(T_k)$ – допустимая область значений в момент наблюдения T_k , τ – остаточный ресурс на отрезке $(t_k; t]$.

Всю область допустимых значений Ω разделим на три подмножества, которые имеют разную интенсивность сработки ресурса: Ω_n – режим пуска (розжига), Ω_c – стационарный режим, Ω_o – режим останова (гашения). Каждая область допустимых значений будет иметь свои диагностические признаки $\Omega_j \in \{k_1, k_2, \dots, k_{N_j}\}$. В случае если признаки не входят в область допустимых значений, режим переходит в ненормативные условия эксплуатации. В связи с тем, что каждому из режимов соответствуют разные значения признаков, то и переходы в ненормативные условия определяют различные значения. Таким образом, фактический отработанный ресурс котла определяется из следующего соотношения:

$$\tau_\phi = \sum_{j=1}^k (\tau_{общ} + \tau'_{общ}) = \sum_{j=1}^k [(\tau_n + \tau_c + \tau_o) + (\tau'_n + \tau'_c + \tau'_o)],$$

где: τ_ϕ – фактический отработанный ресурс, $\tau_{общ}$ – общий сработанный ресурс, $\tau'_{общ}$ – сработанный ресурс в ненормативных условиях эксплуатации, τ_n ,

τ_c, τ_o – наработка в нормативных условиях эксплуатации для режимов пуск, стационарный, останов, $\tau'_p, \tau'_c, \tau'_o$ – наработка в ненормативных условиях эксплуатации для режимов пуск, стационарный и останов, при этом $\tau_p, \tau_c, \tau_o > 0$, $\tau'_p, \tau'_c, \tau'_o \geq 0$, $j = 1, \dots, k$ – цикл работы котла.

Определив фактический отработанный ресурс, можно определить остаточный при условии его дальнейшей нормальной эксплуатации:

$$\tau = \tau_n - \tau_\phi,$$

где τ_n – нормативный ресурс котла, назначенный заводом-изготовителем или экспертной организацией.

Заключение

Для повышения эффективности и безопасности функционирования тепловых электростанций целесообразно перейти от применяемой стратегии организации планово-предупредительных ремонтов и профилактического обслуживания оборудования по времени к планированию данных работ на основе оценки и прогнозирования состояния оборудования с использованием данных оперативного мониторинга и компьютерного моделирования. В настоящей работе рассмотрена постановка задачи создания информационной системы оценки и прогнозирования состояний энергетического котла как одного из ключевых узлов ТЭС. В ходе исследования выявлены основные возможные неисправности функциональных узлов котла в зависимости от воздействия внешних и внутренних факторов. Представлена общая схема информационной системы определения текущего технического состояния котла и функции блоков этой схемы. Проведен анализ диагностических признаков по разным видам неисправностей для каждого функционального узла. Предложено использование граничных условий для идентификации технического состояния котла в различных режимах его работы. Сформулирована идея структуры математической модели для определения остаточного ресурса котла.

Литература

1. Острейковский, В.А. Теория надежности: учебник для вузов / В. А. Острейковский. – 2-е изд., испр. – Москва: Высшая школа, 2008. – 463 с.
2. Дмитриенко, А.Г., Блинов, А.В., Волков, Д.В., Волков, В.С. Техническая диагностика, оценка состояния и прогнозирования остаточного ресурса технически сложных объектов: учебное пособие / А.Г. Дмитриенко, А.В. Блинов, Д.В. Волков, В.С. Волков. – Пенза, 2013. – 62 с.

А.В. Вицентий^{1,2}, В.В. Диковицкий¹, М.Г. Шишаев^{1,2}

¹ *Апатиты, ИИММ ФИЦ КНЦ РАН*

² *Апатиты, Филиал ФГБОУ ВО «МАГУ» в г. Апатиты, Россия*

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ АНАЛИЗЕ ТЕКСТОВ*

Аннотация

В работе рассмотрена проблема извлечения геоданных из текстов и их визуализации в форме, удобной для восприятия и последующего анализа. Предлагается информационная технология, позволяющая извлекать геоданные из текстов на естественном языке и строить на их основе картографический интерфейс на базе готовых геосервисов. Для извлечения топонимов из текста использовались методы синтаксического, морфологического и семантического анализа, а для геокодирования и визуализации – возможности современных веб-геосервисов.

Ключевые слова:

анализ текстов на естественном языке, извлечение фактов из текстов, картографический интерфейс, геовизуализация.

A.V. Vicentiy, V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaeu

¹ *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

² *Apatity, Murmansk Arctic State University*

THE TECHNOLOGY OF EXTRACTION AND VISUALIZATION OF SPATIAL DATA OBTAINED BY TEXTS ANALYSIS

Abstract

This work considers the problem of extracting geodata from natural language texts and visualizing it in a form convenient for perception and subsequent analysis. The information technology for extracting geodata from texts in natural language and building a cartographic interface based on them on the basis of ready-made geoservices is proposed. Syntactic, morphological and semantic analysis methods were used to extract toponyms from texts. For implementation of geocoding and visualization procedures the possibilities of modern web-geoservices were used.

Keywords:

analysis of natural language texts, extracting facts from texts, cartographic interface, geovisualization.

В работе рассмотрена информационная технология извлечения и визуализации геоданных из текстов на естественном языке для автоматизированного синтеза когнитивных картографических интерфейсов. В основе разработанной технологии лежат методы синтаксического, морфологического и семантического анализа текстов. Анализ текстов на естественном языке проводится с целью выявления упоминаемых в них топонимов и других объектов, имеющих географическую привязку. Визуализация

* Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта грант РФФИ № 20-07-00754

в виде цифровой карты обеспечивается последовательным применением процедур геокодирования и геовизуализации к извлеченным из текстов данным с использованием возможностей современных геосервисов и сервисов геокодирования [1-3].

Учитывая тот факт, что значительная часть цифровых данных в настоящее время представлена неструктурированными текстами, а также то, что почти 60 процентов всех данных, так или иначе, связаны с геопространственными данными, [4] исследования в области выявления пространственных данных в текстах и создания методов и средств их обработки являются актуальными, а результаты анализа текстов могут найти применение в различных прикладных задачах. В связи с этим, разработанная информационная технология визуализации пространственных данных на основе анализа текстов на естественном языке для автоматического построения картографических интерфейсов является актуальной и направлена на удовлетворение информационных потребностей пользователей при решении широкого спектра задач управления региональным развитием.

Задача извлечения геоданных из текстов относится к классу задач обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) [5]. В рамках NLP процесс анализа естественного языка рассматривается как последовательность нескольких уровней обработки. Основными уровнями являются: синтаксис, морфология, семантика, прагматика. [6] Более общими задачами по отношению к NLP являются задачи распознавания именованных сущностей (Named-Entity recognition, NER) и задачи автоматического извлечения содержимого (Automatic Content Extraction, ACE). Различные системы распознавания именованных сущностей предназначены для поиска и классификации упоминаемых именованных сущностей в неструктурированных или полуструктурированных текстах. Для повышения качества распознавания используются заранее заданные категории сущностей. В качестве таких категорий могут выступать, например, названия организаций, геообъектов, различные топонимы и т.д. [7]

Описываемая в работе технология включает в себя три основных этапа, которые разбиты на более мелкие шаги. Первый этап связан с подготовкой корпуса документов, подлежащих дальнейшему анализу. Полнота и релевантность сформированного тематического корпуса документов, определяет качество результатов всех последующих этапов технологии.

Второй этап связан с анализом текстов и обработкой полученных результатов. Отличительной чертой данной информационной технологии, обуславливающей ее новизну, является то, что анализ тематического корпуса документов проводится параллельно как на основе синтактико-морфологических, так и на основе семантических методов анализа текстов. Такой подход позволяет повысить точность выявления топонимов и других объектов реального мира, имеющих географическую привязку в текстах на естественном языке за счет того, что результаты различных методов анализа текстов используются для дополнения и проверки друг друга.

Третий этап технологии связан непосредственно с геокодированием и визуализацией множества выявленных объектов, имеющих пространственную привязку, и построением картографического интерфейса на основе существующих геоинформационных сервисов. Таким образом, на входе информационной технологии визуализации используются тематические текстовые источники на естественном языке, а на выходе синтезируется геоизображение (цифровая карта). Общая схема

информационной технологии визуализации пространственных данных на основе анализа текстов на естественном языке представлена на рисунке 1. На рисунке отображены основные этапы и шаги технологии, а также входные и выходные данные для каждого шага.

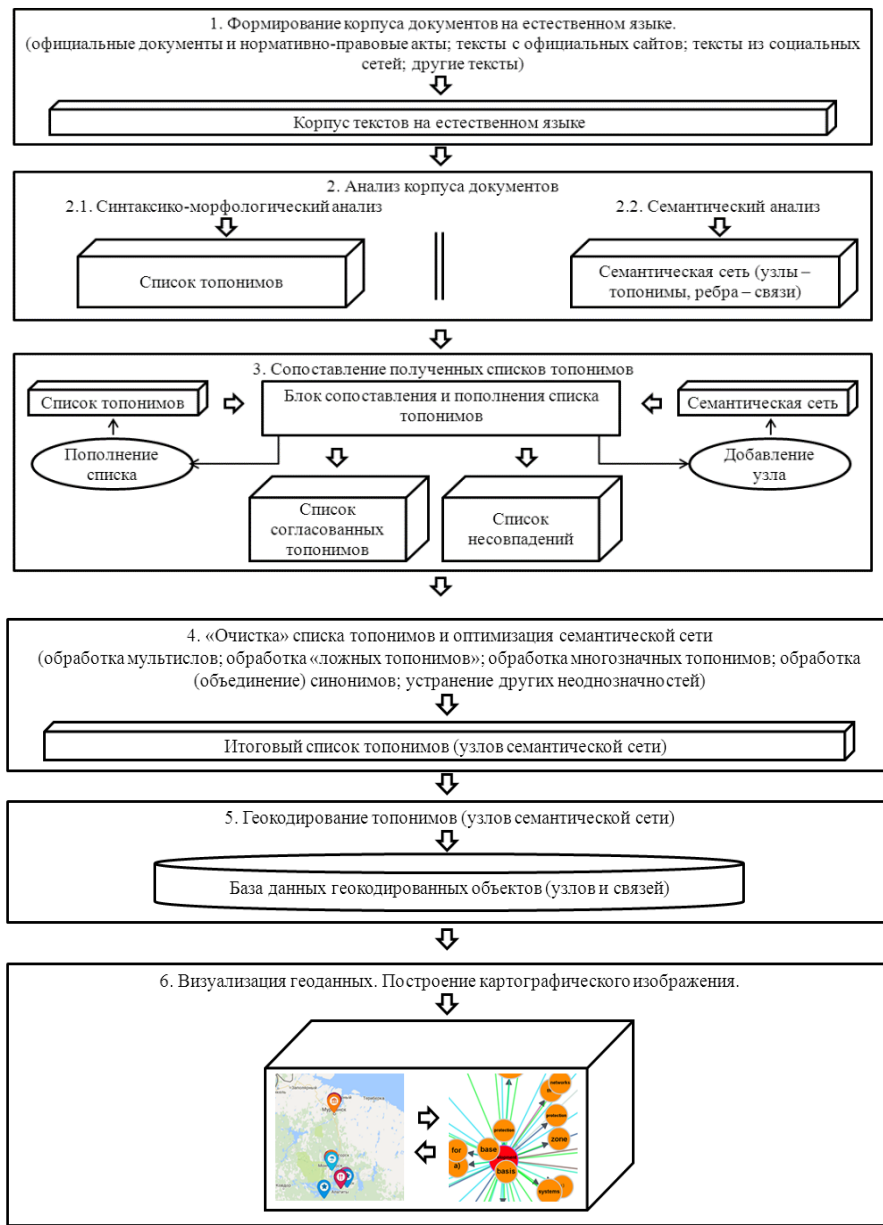


Рис. 1. Обобщенная схема информационной технологии извлечения и визуализации пространственных данных на основе анализа текстов на естественном языке

Синтактико-морфологический анализ осуществляется на основе использования парсинга текста и проводится совместно с семантическим анализом. Результатом синтактико-морфологического анализа является список топонимов и других геообъектов, выявленных в процессе парсинга. Семантический анализ является многоуровневым и состоит в сочетании статистического и лингвистического подходов с целью взаимного уточнения результатов анализа каждого этапа.

Для апробации информационной технологии, оценки ее достоверности и полноты полученных результатов, были проанализированы тексты описаний проектов развития транспортной логистики в АЗРФ. Для корпуса размером в 24322 слова был построен мультиграф из 15345 концептов и 32424 отношений. Среди полученных концептов число обстоятельств места составило 73%, топонимов из них - 61%. В результате применения фильтра было выделено 35 концептов, из которых 23 оказались топонимами. Средняя точность автоматического анализа составила 66%. Одним из перспективных способов увеличения точности является уточнение характеристик концептов и отношений при фильтрации взвешенного мультиграфа, что является одним из направлений дальнейшей работы и требует проведения дополнительных исследований.

С точки зрения практического применения технология полезна для визуального представления данных, извлеченных при интеллектуальном анализе проблемно-ориентированных текстов, пользователям, которые не в полной мере представляют себе пространственное соотношение различных географических объектов в силу сложности, протяженности и большого количества элементов рассматриваемых природно-технических систем, например, транспортно-логистической системы региона. Частным случаем практического использования технологии может быть ее применение в системах информационной поддержки принятия решений. В этом случае визуальное представление геоассоциированных семантических компонентов текста будет полезно лицу, принимающему решения для быстрого понимания «географического смысла» взаимного расположения гео-объектов.

Литература

1. Vicentiy A.V., Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. Automated Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Analyzing Texts About Projects of Arctic Transport // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. pp. 419-433
2. Vicentiy A.V., Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. The Semantic Models of Arctic Zone Legal Acts Visualization for Express Content Analysis // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. — 2019. – vol. 763. – pp. 216-228
3. Vicentiy A.V., Shishaev M.G., Oleynik A.G. Dynamic Cognitive Geovisualization for Information Support of Decision-Making in the Regional System of Radiological Monitoring, Control and Forecasting // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2016. – vol. 466. – pp. 483-495
4. Hahmann, S., Burghardt, D.: How much information is geospatially referenced? Networks and cognition. *International Journal of Geographical Information Science*. – 2013. – vol. 27. – pp. 1171-1189
5. Khurana D et al Natural Language Processing: State of The Art, Current Trends and Challenges. – 2017. – pp. 1-12

6. Reshamwala A, Pawar P. Review on natural language processing, Engineering Science and Technology: An International Journal. – 2013. – vol. 3. – pp. 113-115.
7. Huang H et al European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. – 2016. – pp. 196-197.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.013

УДК 917.997.03

А.А. Галяев, Е.Я. Рубинович

Москва, ИПУ РАН

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ АНПА В КОНФЛИКТНОЙ СРЕДЕ*

Аннотация

В работе рассматриваются предложенные в ИПУ РАН постановки и решения ряда основных и вспомогательных задач, связанных с планированием движения автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) при уклонении от систем однородных и/или разнородных наблюдателей, определяющих конфликтную среду. Приводятся примеры аналитического и численного построения маршрутов движения.

Ключевые слова:

уклонение подвижного объекта, конфликтная среда, система разнородных наблюдателей, оптимальный закон уклонения от обнаружения

A.A. Galyaev, E.Ya. Rubinovich

Moscow, Institute of Control Sciences, RAS

AUUV PATH PLANNING IN THREAT ENVIRONMENT

Abstract

The paper considers the proposed statements and solutions of a number of main and auxiliary problems proposed at Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS related to the planning of the movement of autonomous uninhabited underwater vehicles (AUUV) when evading systems of homogeneous and/or heterogeneous observers that determine the threat environment. Examples of analytical and numerical construction of traffic routes are given.

Keywords:

mobile object evasion, threat environment, system of heterogeneous observers, optimal law of evasion from detection

Конфликтная среда – это совокупность объектов, сближение с которыми нежелательно для автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) в ходе выполнения миссии.

Целью управления АНПА при его движении в конфликтной среде является минимизация ее негативного воздействия. В зависимости от конкретной задачи, факторами негативного воздействия могут считаться: обнаружение

* Работа выполнена при частичной поддержке Программы 7 Президиума РАН

АНПА, сближение с конфликтующим объектом до расстояний, с которых возможно его поражение, и т.п.

В настоящее время существует обширная литература, посвященная управлению движением объектов в конфликтных средах. Основной вклад в исследование данной тематики внесли Забаранкин М., Урясев С., Пардалос П. (Pardalos P.), Пачтер М. (Pachter M.), Уошбёрн А. (Washburn A.), Каццета Л. (Cacceta L.), Лузен И. (Loosen I.), Ребок В. (Rehbock V.), Маслов Е.П. и др. [1–12]. Перечисленные задачи отличаются предположениями о количестве противодействующих объектов; о размерности пространства, в котором происходит противодействие (на плоскости или в трехмерном пространстве); о физических особенностях каналов поступления информации (пассивные и/или активные) и т.п.

В процессе планирования и выполнения основной миссии управляемый объект зачастую должен решать ряд вспомогательных задач, связанных, в частности, с топопривязкой и определением текущих координат и элементов движения противодействующих объектов, построением безопасной (в определенном смысле) траектории своего движения и т.п. Отдельного рассмотрения заслуживают задачи, в которых для дезинформации и отвлечения сил и средств конфликтующих сторон управляемый объект имеет возможность использовать мобильную ложную цель [10, 22].

При выполнении автономных миссий беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) или АНПА часто ставится задача слежения по угломерной информации за мобильной целью. Однако точность оценки элементов движения цели (ЭДЦ) существенным образом зависит от траектории, по которой движется наблюдатель в процессе слежения, что связано с проблемой наблюдаемости цели [23].

В связи с этим естественно возникает задача построения в реальном времени рациональной (с точки зрения улучшения точности оценивания ЭДЦ) траектории движения БПЛА или АНПА. Иными словами – задача траекторного управления наблюдениями с борта подвижного наблюдателя. Собственно процесс слежения состоит из двух связанных между собой процессов: процесса сбора информации о цели и процесса обработки этой информации. Управление процессом сбора информации называют управлением наблюдениями, а процесс ее обработки – фильтрацией [24].

Сложность построения оптимальных процедур сбора и обработки информации в режиме реального времени напрямую связана с нелинейностью как уравнений движения системы наблюдатель-цель, так и уравнений, описывающих угловые наблюдения (пеленг на цель и угол ее возвышения) [25].

В силу габаритных и энергетических ограничений, бортовые вычислители на БПЛА или АНПА относительно малопроизводительны, что требует достаточно простых (рекуррентных) алгоритмов фильтрации, построенных, например, на базе расширенного фильтра Калмана [26]. «Простота» подобных алгоритмов и, в частности, ошибки линеаризации компенсируются более качественной информацией о цели, получаемой за счет оптимизации процесса наблюдения [27, 28].

Алгоритмы системы поддержки принятия решений для управляемых человеком объектов, автоматизации выбора миссии, а также планирования маршрутов движения беспилотных мобильных средств должны наиболее полно учитывать и наилучшим образом обрабатывать информацию, приходящую по всем каналам от различных физических полей с учетом динамических и структурных ограничений, накладываемых внешней средой и другими объектами.

В данном докладе будут рассмотрены предложенные в ИПУ РАН постановки и решения ряда основных и вспомогательных задач, связанных с планированием движения управляемых объектов типа АНПА при уклонении от систем однородных и/или разнородных наблюдателей.

Постановки задач планирования маршрута отличаются предположениями о характеристиках физических полей, в которых происходит обнаружение с учетом среды движения АНПА, классами допустимых законов управления, видом критериев качества, количеством обнаружителей, объемом и характером информации доступной конфликтующим сторонам и алгоритмам ее обработки. Рассматриваются три способа обнаружения АНПА. Первый способ заключается в оценке мгновенного уровня сигнала, излученного АНПА и поступившего на вход информационно-наблюдательной системы за некоторый небольшой интервал времени наблюдения, на основе которой строится поле (карта) распределения уровней рисков и/или угроз. В литературе такую систему принято называть сенсором [13]. Оценка интегрального уровня сигнала на входе сенсора определяется с учетом решения задачи об оптимизации закона управления АНПА, перемещающегося в течение заданного промежутка времени T из начальной точки A в конечную точку B и уклоняющегося при этом от обнаружения сенсором или группой сенсоров, расположенных в районе [14, 15]. Интегральный уровень сигнала получил название энергетического риска.

При втором способе обнаружения математической моделью наблюдателя является точечный объект, снабженный круговой зоной обнаружения фиксированного радиуса, центр которой совпадает с текущей позицией наблюдателя. Такой наблюдатель называется информационным детектором [13, 16 – 18]. В простейшем случае предполагается, что цели, попавшие внутрь круга, обнаруживаются мгновенно и достоверно; цели, не попавшие в круг – не обнаруживаются. Третий способ состоит в оценке поискового потенциала маневренных средств, ведущих случайный поиск в заданном районе. Основным критерием в задачах уклонения АНПА от обнаружения является вероятность обнаружения, т.е. вероятность обнаружения хотя бы один раз и хотя бы одним наблюдателем за время движения АНПА по маршруту [21]. Оптимизация сводится к нахождению траектории и закона изменения скорости объекта, доставляющих минимум указанному критерию [19 – 21].

В докладе приводятся примеры аналитического построения маршрута движения АНПА, а также алгоритмы выбора оптимальной траектории, полученные при решении оптимизационных задач.

Литература

1. Cacceta L., Loosen I., Rehbock V. Optimal transit path problem for submarines // Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Applications and Computational Algorithms, DCDIS, Guelph, Canada, July 27-29, 2005.
2. Cacceta L., Loosen I., Rehbock V. Computational aspects of the optimal path problem // Journal of industrial and management optimization. 2008, V. 4, №1, pp. 1-11.
3. Dogan A., Zengin U. Unmanned Aerial Vehicle Dynamic-Target Pursuit by Using Probabilistic Threat Exposure Map // Journal of Guidance, Control and Dynamics. 2006, V. 29, No. 4, pp. 723-732.

4. Воронин А.Н., Ясинский А.Г., Шворов С.А. Синтез компромиссно-оптимальных траекторий мобильных роботов в конфликтной среде // Проблемы управления и информатики. 2002, № 2, С. 12-18.
5. Галяев А.А., Маслов Е.П., Рубинович Е.Я. Об одной задаче управления движением объекта в конфликтной среде // Известия РАН. Теория и системы управления. 2009, № 3, С. 130-136.
6. Галяев А.А., Маслов Е.П. Оптимизация законов уклонения ПО от обнаружения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010, №4, С. 52-62.
7. Галяев А.А., Маслов Е.П. О задаче патрулирования рубежа // Известия РАН. Теория и системы управления. 2011, №5, С. 143-153.
8. Zabrankin M., Uryasev S., Pardalos P. Optimal Risk Path Algorithms // Chapter 1 in the Book "Cooperative Control and Optimizaton" (R. Murphey and P.Pardalos ed.). Kluwer Academic, Dordrecht. 2002, V. 66, P. 271-303.
9. Zabrankin M., Uryasev S., Murphey R. Aircraft Routing under the Risk of Detection // Naval Research Logistics. 2006, V. 53, No. 8, P. 728-747.
10. Маслов Е.П., Абрамянц Т.Г., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей // Проблемы управления. 2010, №5, С. 73-79.
11. Rehbock V., Caccetta L., Hallam C.L. and O'Dowd R. Optimal Submarine Transit Paths Through Sonar Fields, Research Report, Department of Mathematics and Statistics, Curtin University of Technology, Western Australia, 2000.
12. Washburn A.R., Kress M. Combat Modelling. N.Y.: Springer. 2010.
13. Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем. СПб: Наука, 1988.
14. Якушенко Е.И. и др. Бортовой комплекс управления скрытностью морских подводных объектов с оперативно-советующей системой // Вестник компьютерных и информац. технологий. 2012, № 10, С. 9-16.
15. Szechtman R., Kress M., Lin R. Models of Sensor operations for border Surveillance // Naval Research Logistic. 2008, V. 55, No. 3, pp. 27-41.
16. Галяев А.А., Маслов Е.П. Оптимизация закона уклонения подвижного объекта от обнаружения при наличии ограничений // Автоматика и телемеханика. 2012, № 6, С. 83-94.
17. Галяев А.А. Задача уклонения от подвижного одиночного наблюдателя на плоскости в конфликтной среде // Автоматика и Телемеханика. 2014, № 6, С. 28-37, 2014.
18. Галяев А.А. Задача уклонения от обнаружения системой разнородных наблюдателей: один сенсор – группа детекторов // Проблемы управления. 2016, № 3, С. 72-77, 2016.
19. Васильев С.Н., Галяев А.А., Горкунов Э.С., Гурьев Ю.В., Перцев В.В., Якушенко Е.И. Перспективы создания бортовых комплексов управления физическими полями подводных лодок // Сборник материалов конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2016), СПб.: Изд-во ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», С. 3-12, 2016.
20. Абрамянц Т.Г., Галяев А.А., Маслов Е.П., Рудько И.М., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения системой разнородных наблюдателей // Проблемы управления. 2015, № 2, С. 31-37.
21. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977. 360 с.
22. Иванов М.Н., Маслов Е.П. Об одной задаче уклонения // Автоматика и телемеханика. 1984. № 8, С. 56-62.

23. Nardone S.C. and Aidala V.J. Optimization of Observer Trajectories for Bearings-only Target Localization // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. 1981, V. AES-17, No. 2, pp. 162-166.
24. Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А., Серебровский А.П. Управление наблюдениями в автоматических системах. М.: Наука, 1986.
25. Koks Don. Numerical Calculations for Passive Geolocation Scenarios / Defense Science and Technology Organization Research Report. DSTO-RR-0319. Australia, 2009. URL: http://www.dsto.defence.gov.au/publications/scientific_record.php?record=4559.
26. Miller A. and Miller B. Tracking the UAV Trajectory on the Basis of Bearing-Only Observations // Proc. 53rd IEEE Conf. on Decision and Control. CDC2014. pp. 4178-4184.
27. Андреев К.В. Траекторное управление наблюдениями с борта беспилотного летательного аппарата / Автореферат дисс. канд. техн. наук по спец. 05-13-01. М.: ИПУ РАН, 2016.
28. Андреев К.В., Рубинович Е.Я. Траекторное управление наблюдателем за мобильной целью по угломерной информации // Автоматика и телемеханика. 2016, №. 1, С. 134-162.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.014
УДК.519711.3

М.А. Горелов, Ф.И. Ерешко

Москва, Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, ФИЦ ИУ РАН

МОДЕЛЬНОЕ ОБУСТРОЙСТВО ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ

Аннотация:

Настоящая работа продолжает публикацию авторов на VIII Всероссийской конференции (с международным участием) Теория и практика системной динамики 2019 года. Приводятся различные определения и примеры цифровых платформ. Описана сетевая модель и решение проблемы децентрализация управления в стохастическом случае.

Ключевые слова.

цифровая экономика, цифровые платформы, сетевая модель, проблема децентрализации.

M.A. Gorelov, F.I. Ereshko

Moscow, Dorodnicyn Computing Centre, RAS

DIGITAL PLATFORMS AND MODELING

Abstrat:

This work continues to publish authors at the VIII All-Russian Conference (with international participation) Theory and Practice of System Dynamics 2019. Various definitions and examples of digital platforms are provided. The network model and solution of the problem of decentralization of management in stochastic case is described.

Keywords.

digital economy, digital platforms, networking model, decentralization problem.

Введение

Настоящая работа продолжает публикацию на предыдущей конференции [1]. И так же как в прошлой работе принимаем, что «Цифровые технологии, основанные на аппаратном и программном обеспечении и сетях, не являются новшеством, но с каждым годом уходя все дальше от третьей промышленной революции, становятся все более усовершенствованными и интегрированными, вызывая трансформацию общества и глобальной экономики. (это слова К. Шваба) [2]». Процедурам цифровизации в различных отраслях уделяется значительное внимание, как пример см. [3]. Премьер Мишустин М.В. отметил тот факт, что цифровые технологии пронизывают всю экономику (используется термин сквозные технологии), и указал, что его правительство будет цифровой платформой.

Подходы к построению цифровой экономики

Эффективность цифровизации существенно зависит от подходов к ее построению, среди которых можно выделить два полярных: плановый и рыночный. Все стратегии, осуществляющиеся в реальной жизни, являются комбинацией этих двух подходов [4].

Рыночный подход к построению цифровой экономики (ЦЭ) предполагает, что государство создает оптимальные условия, в первую очередь благоприятную среду для ее функционирования, чем стимулирует бизнес к переходу в этот новый сектор.

Плановый подход к построению цифровой экономики предполагает поэтапное развитие инфраструктуры под руководством государства и целенаправленное «заполнение» соответствующего сектора различными экономическими субъектами.

Страны-лидеры процесса «цифровизации» избрали противоположные подходы: США декларирует рыночный путь, в то время как Китай избрал плановый.

Стратегия США представляется оправданной в силу следующих обстоятельств:

США обладает значительным экономическим и технологическим преимуществом перед остальным миром;

в вопросе построения инфраструктуры ЦЭ США может опереться на высокотехнологичные транснациональные корпорации, такие как Google, FaceBook, Amazon, Intel и прочие;

Китай выбрал плановое развитие ЦЭ, стратегия которого предполагает следующие 4 основных компоненты:

- тотальная цифровизация производства и логистики;
- разработка нормативно-правовой базы;
- цифровизация систем управления, создание цифровых платформ;
- интеграция цифровых платформ и экономических систем в единое пространство.

В силу большой доли государства в экономике в принятой правительством РФ 28 июля 2017 г. Программе «Цифровая экономика Российской Федерации» упор делается на создание ряда индустриальных цифровых платформ под руководством профильных министерств или госкорпораций.

Различные определения цифровых платформ

Для исследователей, склонных к формализации, естественно, принципиален вопрос определения цифровой платформы. Ясно, что данный термин, относясь к явлениям инновационным, как вся цифровая экономика, пока не является однозначно принятым.

Например, в рамках экономических рассуждений можно принять [5], что «Цифровая платформа представляет собой систему взаимовыгодного взаимодействия значительного числа независимых членов отрасли (или субъектов деятельности) в единой информационной среде, что приводит к снижению транзакционных издержек за счет использования цифровых технологий для работы с данными и к изменению системы разделения труда. Это определение позволяет выделить критерии отнесения объекта к категории «цифровая платформа» на абстрактном уровне».

Очевидно, переход к цифровой экономике потребует осознания грядущих изменений в технологиях как проектирования информационных систем, составляющих суть Цифровая экономика (ЦЭ), так и в технологиях процессов управления общественным развитием. В программе «Цифровая экономика Российской Федерации» ставится цель создания не менее 10 цифровых платформ, однако не приводятся критерии их формирования и эффективные оценки, исходя из различных подходов к построению цифровой экономики.

В рыночном подходе к ЦЭ в настоящее время эксперты Intel определяют понятие «платформа» как «комплексный набор компонентов, который обеспечивает реализацию намеченных моделей использования, позволяет расширять существующие рынки и создавать новые, а также приносит пользователям гораздо больше преимуществ, чем простая сумма составных частей. Платформа включает аппаратное, программное обеспечение и услуги» [6]. Европейская комиссия также определяет онлайн-платформы через призму их функционального назначения, как «поисковые системы, социальные сети, платформы для электронной коммерции, магазины покупки приложений, сайты сравнения цен» [7].

Сравнительно недавно в научной литературе появилось понятие «платформенной экономики», которая представляет собой использование для работы организаций внешних площадок (платформ) и связанных с ними экосистем, не находящихся в собственности организации и не контролируемых ими. Использование платформ позволяет компаниям сократить ИКТ издержки и уменьшить временные затраты на выведение новых продуктов на рынок. J.P. Morgan [8] определяет платформенную экономику как экономическую деятельность с использованием онлайн-посредника, обеспечивающую площадку, посредством которой независимые работники или продавцы могут предоставлять определенный товар или услугу клиентам и определяет, что все платформы имеют четыре общие черты: связывают работников или продавцов непосредственно с клиентами; позволяют людям работать, когда они хотят;

продавцы получают оплату сразу после выполнения работы или предоставления товара; оплата проходит через платформу.

Рост и совершенствование платформ в таком понимании показывает эволюция средств информатизации: технических и программных средств информатизации.

Мы принимаем, что технологической базой Цифровой экономики являются вычислительные комплексы, оснащённые специальным программным обеспечением на основе математических моделей, т.е. вычислительные, или Цифровые платформы.

Приведём пример существующих Цифровых платформ, и для нас важно, что во всех платформах таблицы наличествуют модели.

В системной модели концептуального характера должны быть увязаны главные потоки: материальные, информационные, финансовые и предусмотрены различные режимы использования.

Создание системной модели проходит этапы: содержательная, описательная (дескриптивная), формальная математическая, компьютерная. И этапы модели имеет соответствующие формы представления.

Иллюстративный пример сетевой модели

В настоящее время всё более широкое распространение имеют технологии, которые можно определить как сетевые организации управления сложными системами. Это системы, состоящие из относительно автономных элементов, – узлов, – которые обмениваются между собой информацией и изменяют своё состояние по каким-то локальным правилам. Под действием этого процесса меняется система в целом.

Сам принцип такой организации систем имеет природное обоснование: от простых организмов, как сообщества клеток, до социально-политических систем человеческих сообществ. Хотя эти системы правильнее, наверное, называть гибридными. Они эволюционируют как под действием автономного поведения их элементов, так в результате сигналов из центров управления. Но надо понимать, что и эти центральные органы управления, в свою очередь, порождение системы, её элементов. Или непосредственно, или в итоге длительного эволюционного развития системы от поколения к поколению. Кроме того, сами органы управления, к примеру, центральная нервная система, организованы по тем же сетевым принципам.

Понятно, что искусственные сети тоже не новое изобретение. Ещё в древности появились транспортные, а позже, почтовые сети. Отличие новых сетевых технологий в том, что они не просто предоставляют условия для обслуживания клиентов, но, за счёт активности пользователей, порождают новые глобальные эффекты. Это проявилось уже в виде Мировой паутины – самой первой и базовой для большинства современных сетевых конструкций (тоже, конечно, гибридной). Интернет породил многочисленные формы социальных объединений, активно влияющих на культурную и политическую жизнь общества (информация, просвещение, но и дезинформация, идеологическое давление – всё это приобретает новые и эффективные формы, вплоть до инициирования народных волнений). Технологии блокчейнов, тоже использующие интернет, служат не только для экономического взаимодействия клиентов, но и породили новые валюты, имеющие самостоятельную ценность, собственную историю

проживания. Наиболее значительным явлением новой технологической эпохи должны стать искусственные нейронные сети, основа для разработок по искусственному интеллекту. Именно нейросети наиболее отчётливо демонстрируют, как «рефлекторные» реакции узлов сети могут приводить к тому, что сеть, как объект более высокого уровня, даёт на выходе искомым её создателями результат, а именно, решение некоторой задачи.

Сравнение платформ для построения блокчейн-сетей*

Logo	Platform Name	Description	Target Audience	Developers	Features	Risks	Projects
	ethereum	Самый популярный проект в мире для создания публичных блокчейн-приложений. Работает глобальная сеть для создания решений, доступных во всем мире.	создание публичных решений в открытых данных.	Ethereum Foundation + большое открытое сообщество	Самое большое сообщество разработчиков с высокой компетенцией по знанию платформы. Простота платформы. Смарт-контракты являются частью неизменной сети.	Риск: получение контроля злоумышленником над всей сетью при достаточной мощи. Отсутствует контроль над списком участников. Обязательный майнинг. Ограничение на максимальную сложность логики смарт-контрактов.	1. Проект правительства Москвы «Активный гражданин» 2. Проект удаленной идентификации – IDChain (РосСбербанк, Microsoft) 3. Цифровой аккредитив (ВЭБ) 4. Проект по обмену реквизитами банков (Банк «Открытие», Банк «Ик Барк», Сбербанк, АФТ, ВТБ) 5. Факторинг. (М.Видео, Сбербанк)
	Мастерчейн	Закрытая платформа на базе модификации протокола Ethereum, с доработками под законодательство РФ. ГОСТ цифрованы.	финансового сектора и коммерческих организаций, соответствует законодательству РФ.	Ассоциация финТех.	ГОСТ подпись и шифрование (аттестация в 2018). Готовые и встраиваемые рынком финТех продукты по модели As a Service. Майнинг у ограниченных участников	Возможное отставание по версии, из-за необходимости получать обновления от проекта Ethereum, в том числе, обновления безопасности. Закрытое развитие платформы. Обязательный майнинг. Ограничение на максимальную сложность логики смарт-контрактов.	1. Проект Электронная Залюдная (децентрализованной депозитарий учет закладных) – Сбербанк, АФТ, АИЖК 2. Проект KYC (Know Your Customer) – Обмен информацией о физических лицах между участниками сети (Банк Открытие, АФТ) 3. Распределенный реестр цифровых банковских гарантий (ВТБ, АФТ) 4. Цифровой аккредитив (Альфа-Банк, АФТ)
	HYPERLEDGER Fabric	Открытая платформа от мирового разработчика для организации коммерческих взаимодействий со строго регулируемым списком участников.	коммерческий сектор. Ведение доверенных распределенных баз данных.	консорциум Hyperledger.	Возможность настройки нескольких блокчейн-сетей, используя один клиент. Легкое обновление логики смарт-контрактов владельцем смарт-контрактов. Легкое администрирование списка участников сети через выдачу и отзыв сертификатов. Отсутствует майнинг. Гибкая балансировка нагрузки.	низкая компетенция специалистов в РФ и малый размер сообщества.	1. Платформа по выпуску облигаций (ИИИ) 2. Системы дистанционного банковского обслуживания финансовых институтов (Сбербанк)
	EXONUM	Открытый фреймворк, для разработки полноценных приложений с использованием распределенной БД.	для разработки публичных и частных сетей. С доработкой платформы под каждого заказчика.	компания BitFury.	Гибкость в работе с внешними источниками данных. Позволяет создавать как публичные так и приватные решения. Контроль участников в сети через голосование. Смарт-контракты реализуются отдельно на каждом узле, в сети регистрируется описание смарт-контракта, условие для успешного выполнения контракта – идентичная реализация у большинства валидаторов. Отсутствует майнинг. Фиксация среза базы данных.	Риск: Риск рассинхронизации верой клиента.	1. Проект ДДУ, взаимодействие Росреестр-Фонд(АИЖК) 2. Регистрация прав собственности (NAPR, Грузия) 3. Цифровой контракт (ВЭБ) 4. Третьейская оговорка – прототип (Сбербанк)
	c.rda	Платформа для обмена B2B сообщениями/уведомлениями для технической и юридической фиксации фактов в децентрализованной системе. Юридическая фиксация подкрепляется автоматическим созданием текстового договора и его подписанием юридически значимыми электронными подписями участников.	участники финансового сектора, операции по учету активов, проведение финансовых сделок в закрытом канале.	консорциум R3: Консультанты: Barclays, Bank of America, HSBC, Cit, Royal bank of Canada и другие.	Работа в формате утверждения фактов, а не в режиме базы данных. Содержание сообщений открывается только списку участников и, при необходимости, регулятору. При правильной работе формирует связь между связанными объектами. Высокая гибкость. Отсутствует майнинг.	узконаправленность платформы: финансовый коммерческий сектор	около 50 проектов 1. MarcoPolo для оптимизации торгового финансирования 2. HQLAx - биржа токенизации высоколиквидных активов

Рис. 1. Таблица блокчейн-платформ

Практический пример

В качестве примера приведём сетевое обобщение модели технологических процессов Канторовича-Купманса.

Исходим из того, что цифровая платформа – это сообщество субъектов, независимых агентов, в конкретной предметной области, выступающих как система, как совокупность участников, обладающих техническими средствами и компьютерными программами для обработки и хранения информации и взаимодействующих в процессе производства, потребления и распределения товаров и услуг. Система, как организация, формируется на основе договоров и регламентов вступления и выхода из системы.

Рассматривается операция в интересах координирующего Центра.

Центр управляет производственной системой с распределённой структурой технологических связей (примем термин сеть) между участниками (игроками).

Мы принимаем следующие условия относительно поведения участников группы: отношения участников складываются в соответствии с логикой производства, в соответствии с технологиями производства, определившими конфигурацию сети.

Сеть состоит из узлов и дуг. I – Множество узлов i . В узлах сети размещаются активные экономические участники, производители и потребители товаров и услуг.

По дугам распространяется информация, это каналы передачи информации.

I_{input}^i – множество узлов, выходы из которых есть входы в i -ый узел.

Номера узлов в этом множестве обозначим n .

I_{output}^i – множество узлов, входы у которых есть выходы из i -ого узла.

Номера узлов в этом множестве обозначим m .

Рассматривается модель взаимодействия активных элементов (игроков), которые размещаются в узлах сети.

Вследствие заданной конфигурации сети каждый узел (игрок) имеет входы (дуги) и имеет выходы (дуги).

Полученная входная продукция (и соответствующая информация) используется каждым игроком для выработки выходной продукции (и информации), которая поступает на входы заданного множества игроков.

Выходные переменные являются идентификаторами реальных физических продуктов и в соответствии с этим на переменные налагаются ограничения, являющиеся следствием особенностей технологических процессов.

Каждый игрок имеет функцию цели, множество управляемых переменных. Эти множества зависят от переменных множества заданных других игроков, поступающих на вход.

В принципе все игроки разбиты на три группы.

Первая граничная группа I_{input} имеет среди входов параметры от внешнего мира. Эти параметры в записи, реально это внешние ресурсы, которые поступают в эту систему. Участник первой группы передаёт информацию о выходных переменных во вторую группу.

Вторая группа связана только с внутренними игроками.

I_{input}^i – множество узлов, выходы из которых есть входы в i -ый узел.

Номера узлов в этом множестве обозначим n .

I_{output}^i – множество узлов, входы у которых есть выходы из i -ого узла.

Номера узлов в этом множестве обозначим m .

Часть игроков второй группы передает информацию в третью группу.

Третья группа, граничная I_{output} направляет выходы во внешний мир.

Общее описание

$\xi_{ij} \geq 0$ интенсивность j -ого технологического процесса i -го участника, $i \in I$.

$$\sum_{j \in J_i} r_{ijk} \xi_{ij} \leq r_{ik}, \text{ – потребление } i\text{-ым участником внешних ресурсов типа } k,$$

$$\sum_{j \in J_i} b_{ij} \xi_{ij} \leq \sum_{n \in I_{input}^i} x_{ni}, \text{ где } x_{ni}, n \in I_{input}^i. \text{ – потребление } i\text{-ым участником}$$

продукции участника номера n из множества I_{input}^i сети Платформы,

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \xi_{ij} = x_i, i \in I, \text{ – выходы продукции } i\text{-го активного участника.}$$

$$x_i = \sum_m x_{im} \geq 0, \text{ где } x_{im} \geq 0 \text{ часть продукции } i\text{-го активного участника,}$$

направляемой участнику номера m из множества I_{output}^i .

Компоненты вектора выпуска $x_i \geq 0$ обозначим в виде $x_i^e \geq 0$, где перечень всех видов продукции $E, (e \in E)$.

Критерий эффективности i -го активного участника, $i \in I$ примем в виде

$$F_i = \sum_{e \in E} c_e x_i^e - \sum_n c_n x_{ni} \max$$

Цены $c \geq 0$ задаются Центром.

Определим $y \geq 0$ – общий выпуск продукции во внешний мир, во внешнее потребление

$$\text{Компоненты общего выпуска всей сети } y^e \geq 0 (e \in E) = \sum_i x_i^e \geq 0,$$

$i \in I_{output}$.

Возможны два критерия общей эффективности

Пусть $y_0^e \geq 0$ нормативный набор продукции, так что оценку функционирования можно записать в виде

$$F = \min_e \frac{y^e}{y_0^e} \text{ или } F = \sum_{e \in E} p_e y^e, \text{ где } p_e \geq 0 \text{ внешние рыночные цены.}$$

F – показатель общей эффективности.

Постановка задачи

Параметры модели: множества I технологических связей задаются Центром.

Центр имеет функцию выигрыша F , знает внешние цены, неопределёнными факторами для Центра являются все нормативные коэффициенты.

Центр может обеспечить поставки внешних ресурсов и распределять их между участниками.

$$\sum_i r_{ik} \leq R_k \text{ внешние ресурсы}$$

Центр выбирает способы управления в целях максимизации гарантированного выигрыша путем распределения ресурсов $\sum_i r_{ik} \leq R_k$ и назначения внутренних цен $c \geq 0$.

И формирует принципы организации коалиции потребителей по наилучшему распределению $x_{im} > 0$.

Проблема в данной модели состоит в записи оптимальных результатов всех игроков в зависимости от принятого принципа оптимальности.

Централизация vs Децентрализация

Как отмечалось в предшествующей работе [1], проблемы информированности и децентрализации являются одними из главных в теории принятия решений и привлекали внимание мыслителей всех эпох (см., например, <https://en.wikipedia.org/wiki/Decentralization>). Опыт показывает, что на практике управление достаточно сложными организационными системами осуществляется по иерархическому принципу. Отсюда можно сделать вывод о том, что децентрализованное управление является более эффективным. Однако объяснить причину эффективности децентрализации управления затруднительно.

Данный раздел носит в значительной степени технический характер, исследуется зависимость оптимальной структуры системы управления от объема доступной информации о внешнем неопределенном факторе, имеющем стохастический характер.

Впервые на эту зависимость обратили внимание Ю.Б. Гермейер и Н.Н. Моисеев в начале семидесятых годов прошлого века. Первая формальная модель такого рода была построена в [9, 10]. Прикладной смысл этого исследования – создание математического аппарата для анализа упрощенных моделей, позволяющих делать качественные выводы и, что самое главное, формировать на модельном уровне представление о предмете исследований у лиц, принимающих решения. Более подробно о деталях используемого подхода и об исходных содержательных предпосылках можно прочесть во введении к цитированным статьям.

Построенная модель позволяет получить качественные выводы, хорошо согласующиеся с содержательными представлениями об управлении в условиях неопределенности. Это дает основание говорить о том, что модель верно отражает какие-то существенные черты описываемого объекта. Однако эти выводы получены при довольно жестких предположениях. Поэтому, естественно, возникает вопрос о том, насколько полученные выводы зависят от сделанных предположений. Есть и другой, чисто утилитарный вопрос: насколько зависит от этих предположений возможность математического исследования построенной модели? Этим двум вопросам и посвящена, в значительной степени, данная статья.

В данном разделе основные гипотезы предшествующей работы, доложенной на Конференции 2019 сохранены. Изменено лишь предположение об отношении лица, принимающего решения, к неопределенности.

В предыдущей работе оно предполагалось осторожным.

Далее считается, что на множестве неопределенных факторов задана вероятностная мера, и лицо, принимающее решение, склонно ориентироваться на математическое ожидание своего выигрыша по этой мере. Такое предположение в прикладных исследованиях, разумеется, нуждается в дополнительном

обосновании. Однако, оно весьма распространено, а в западной литературе, пожалуй, даже более популярно, чем принцип максимального гарантированного результата. Отметим, что в данной работе не используются результаты типа закона больших чисел, поэтому все вероятности можно рассматривать как субъективные, что существенно облегчает обоснование адекватности подобного рода моделей. Исследование моделей в новых предположениях оказывается более сложным и требует привлечения иного математического аппарата. Однако решить соответствующие задачи удастся в достаточной общности.

Как и в [9, 10], задача поиска оптимальной структуры иерархической системы не ставится. Вместо этого на качественном уровне производится сравнение двух схем управления: централизованной и децентрализованной.

Рассмотрим следующую модель управляемой системы. Оперирующая сторона может по своему усмотрению выбирать любое управление w из множества W . Помимо этого выбора на результат управления влияет еще некий неопределенный фактор α из множества A , значение которого оперирующая сторона не контролирует. Эффективность управления оценивается значением $g(w, \alpha)$ функции $g : W \times A \rightarrow \mathbf{R}$ (как обычно \mathbf{R} – множество действительных чисел).

Будем считать, что на множестве A задана вероятностная мера ζ , известная оперирующей стороне. В дальнейшем будем предполагать, что оперирующая сторона риск-нейтральна по отношению к этой неопределенности, то есть ориентируется на математическое ожидание своего выигрыша.

Примем еще одно предположение, отражающее представление «технологической структурированности» рассматриваемой управляемой системы. Будем считать, что множество W представимо в виде декартова произведения $W = U \times V^1 \times \dots \times V^n$. Тогда всякий элемент $w \in W$ может быть записан в виде $w = (u, v^1, \dots, v^n)$, где $u \in U$, $v^i \in V^i$, $i = 1, \dots, n$. Такую форму записи там, где она удобна, будем использовать без особых оговорок.

Сделаем следующие стандартные предположения. Будем предполагать, что на множествах $u \in U$, $v^i \in V^i$, $i = 1, \dots, n$ и A заданы топологии, в которых эти множества компактны. Функцию g будем считать непрерывной в топологии декартова произведения $U \times V^1 \times \dots \times V^n \times A$. Мера ζ будем считать борелевской.

Топологии на множествах $u \in U$, $v^i \in V^i$, $i = 1, \dots, n$ индуцирует топологию на их произведении $W = U \times V^1 \times \dots \times V^n$. В дальнейшем, когда речь пойдет о топологии на множестве W , будем иметь в виду именно топологию произведения.

Модель централизованного управления

В данной статье основной интерес будет представлять следующий случай. Пусть оперирующая сторона имеет возможность получать информацию о реализовавшемся значении неопределенного фактора, но объем информации, которую она способна получить и своевременно обработать ограничен. А именно, будем считать, что оперирующая сторона может использовать l бит информации, и других ограничений на использование информации нет.

Формализуется сказанное следующим образом. Введем обозначение. Здесь и далее $\Phi(X, Y)$ будет обозначать семейство всех функций, отображающих множество X в множество Y .

Сделанное предположение означает, что вся информация о неопределенном факторе, доступная оперирующей стороне, может быть закодирована словами $s = (s_1, \dots, s_l)$ из нулей и единиц длины l . Множество $\{0, 1\}^l$ (декартову степень множества $\{0, 1\}$) обозначим буквой S . Поскольку ограничений на доступ к информации о неопределенном факторе у оперирующей стороны нет, выбор «способа кодировки» $P: A \rightarrow S$ – это ее прерогатива. Кроме того, в зависимости от полученной информации $s \in S$ оперирующая сторона вправе выбрать любое управление $w \in W$. Т.е., по сути, она может выбирать функцию $w_*: S \rightarrow W$. Если оперирующая сторона зафиксирует способ кодировки $P \in \Phi(A, S)$ и правило выбора управления $w_* \in \Phi(S, W)$ и реализуется значение неопределенного фактора $\alpha \in A$, то оперирующая сторона получит сообщение $P(\alpha)$, выберет управление $w_*(P(\alpha))$, и ее выигрыш составит $g(w_*(P(\alpha)), \alpha)$.

В таком случае математическое ожидание выигрыша будет равно $\int_A g(w_*(P(\alpha)), \alpha) \rho(d\alpha)$, а при наилучшем выборе стратегии $(w_*, P) \in \Phi(S, W) \times \Phi(A, S)$ результат составит

$$R_0(l) = \sup_{(w_*, P) \in \Phi(S, W) \times \Phi(A, S)} \int_A g(w_*(P(\alpha)), \alpha) \rho(d\alpha)$$

Упростим формулу, определяющую величину $R_0(l)$. Фиксируем функцию $w_* \in \Phi(S, W)$. Она принимает $m = 2^l$ различных значений. Пусть множество этих значений есть $\{w_0, w_1, \dots, w_{m-1}\}$. Сообщение $s = (s_1, \dots, s_l)$ можно рассматривать как двоичную запись $w_0 \dots w_{m-1}$ натурального числа из множества $\{0, 1, \dots, m-1\}$. Имея в виду такое отождествление, можно, не ограничивая общности, считать, что $w_*(s) = w_s$.

Если функция $w_* \in \Phi(S, W)$ фиксирована, то способ кодировки информации $P \in \Phi(A, S)$ разумно выбирать так, чтобы при каждом значении $\alpha \in A$ сообщение $r = P(\alpha)$ удовлетворяло условию $g(w_r, \alpha) = \max_{s=0, 1, \dots, m-1} g(w_s, \alpha)$. При таком выборе стратегии (w_*, P) математическое ожидание выигрыша будет равно $\int_A \max_{s=0, 1, \dots, m-1} g(w_s, \alpha) \rho(d\alpha)$. А при наилучшем выборе функции w_* можно рассчитывать на получение ожидаемого результата $\max_{(w_0, w_1, \dots, w_{m-1}) \in W^m} \int_A \max_{s=0, 1, \dots, m-1} g(w_s, \alpha) \rho(d\alpha)$.

Понятно, что приведенные рассуждения обратимы, поэтому справедлива следующая теорема.

Теорема. Имеет место равенство

$$R_0(l) = \max_{(w_0, w_1, \dots, w_{m-1}) \in W^m} \int_A \max_{s=0,1,\dots,m-1} g(w_s, \alpha) \rho(d\alpha).$$

Модель децентрализованного управления

Рассмотрим другой способ управления той же системой. Предположим, оперирующая сторона передает право выбора управлений v^i агентам: агент с номером i получает право выбора управления $v^i \in V^i$ ($i = 1, \dots, n$). Выбор управления $u \in U$ оперирующая сторона (Центр) оставляет за собой.

Появление у агента i права влиять на ситуацию неизбежно влечет появление у него собственных целей. Процесс формирования этих целей сложен и мало изучен. В данной модели эти цели считаются заданными экзогенно. Будем предполагать, что цель агента i описывается стремлением к максимизации значения функции $h^i(u, v^i, \alpha)$. Существенным является то, что эта функция зависит от его собственного управления, управления Центра и неопределенного фактора, но не зависит от выборов остальных агентов.

Будем считать, что Центр по-прежнему имеет возможность получить и обработать l бит информации о неопределенном факторе α . Таким образом, стратегией центра является пара $(u_*, P) \in \Phi(S, U) \times \Phi(A, S)$ функций $u_* : S \rightarrow U$ и $P : A \rightarrow S$ (смысл этих конструкций тот же, что и в модели централизованного управления). Предположим, что каждый из агентов в момент принятия решений имеет точную информацию об этом неопределенном факторе.

Допустим также, что Центр оставляет за собой право первого хода, т.е. он первым выбирает свою стратегию (u_*, P) и сообщает ее всем агентам.

В этих условиях агент i принимает решение в условиях полной определенности: он знает реализовавшееся значение неопределенного фактора α и управление $u_*(P(\alpha))$, которое должен будет выбрать Центр. Поэтому, если Центр знает функцию выигрыша h^i агента i , то он может рассчитывать на то, что в случае, когда реализуется значение неопределенного фактора α , этот агент выберет свое управление из множества

$$BR^i(u_*, P, \alpha) = \left\{ v^i \in V^i : h^i(u_*(P(\alpha)), v^i, \alpha) = \max_{v^i \in V^i} h^i(u_*(P(\alpha)), v^i, \alpha) \right\}.$$

Тогда при оптимальном выборе своей стратегии он получит выигрыш

$$R_1(l) = \sup_{(u_*, P) \in \Phi(S, U) \times \Phi(A, S)} \int_A \min_{v^1 \in BR^1(u_*, P, \alpha)} \dots \min_{v^n \in BR^n(u_*, P, \alpha)} g(u_*(P(\alpha)), v^1, \dots, v^n, \alpha) \rho(d\alpha)$$

В работе установлена справедливость следующего утверждения.

Теорема. При фиксированном объеме доступной информации l могут выполняться как неравенство $R_0(l) > R_1(l)$, так и противоположное неравенство $R_1(l) > R_0(l)$. Однако при любом $\varepsilon > 0$ при достаточно больших l имеет место неравенство $R_0(l) > R_1(l) - \varepsilon$, а в типичном случае при достаточно больших l справедливо и неравенство $R_0(l) > R_1(l)$.

Таким образом, при малых объемах доступной оперирующей информации в случае, когда интересы агентов «хорошо согласованы» с интересами Центра, выгоднее децентрализованный способ управления, а в случае, когда интересы агентов «плохо согласованы» с интересами Центра, выгодна централизация управления. А при больших объемах доступной оперирующей стороне информации, всегда выгоднее централизованный способ управления.

Заключение

Основная цель изложения, как и ранее, состоит в том, чтобы показать, что отечественный опыт построения вычислительных комплексов при предварительном анализе математических моделей управления рационален, и его востребованность определяется логикой цифровой трансформации экономики.

Литература

1. Горелов М.А., Ерешко Ф.И. Иерархические игры в системе управления // Материалы докладов восьмой Всероссийской научной конференции «Теория и практика системной динамики». КНЦ РАН, Апатиты, 1-5 апреля 2019. С. 44-50. DOI: 10.25702KSC.978.5.91137.390.0
2. Шваб К. Четвертая промышленная революция/ Пер. с англ. Предисловие Грэф Г.О. – М.: «Эксмо», 2016
3. Ерешко А.Ф. Методология и практика формирования единого медико-биологического пространства с применением цифровых технологий . С. 429-433. Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. – М.: ИНИОН РАН, 2020. – Ч.1. – 794 с.
4. Ерешко Ф.И., Меденников В.И., Богатырёва Л.В. Системный анализ проблем цифровой экономики и формирования цифровых платформ. Труды двенадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2019. (1-3 октября 2019г., Москва, ИПУ РАН. Стр. 220-230. ISBN 978-5-91450-240-6.
5. Гретченко А.А. Типы цифровых платформ и их содержание. С.419-423 Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. – М.: ИНИОН РАН, 2020. – Ч.1. – 794 с.
6. Платформенный подход Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=8655> – Дата доступа: 15.03.2018.
7. Европейская комиссия [Электронный ресурс] / Цифровая экономика. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/growth/sectors/digital-economy/> – Дата доступа: 28.12.2017.
8. Paychecks, Paydays, and the Online Platform Economy. Big Data on Income Volatility// JPMorgan Chase & Co. – 2016. № 1. – 44 p.
9. Горелов М.А., Ерешко Ф.И. О моделях централизации и децентрализации управления в цифровом обществе // Контуры цифровой реальности: Гуманитарно-технологическая революция и выбор будущего / Под ред. В.В.Иванова, Г.Г. Малинецкого, С.Н. Сиренко. М.: Ленанд, 2018. С. 187–202
10. Горелов М.А., Ерешко Ф.И. Информированность и децентрализация управления // Автоматика и телемеханика, 2019. №6. С. 156–172. DOI: 10.1134/S0005231019060096

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.015

УДК: 33.05, 51-7

С.В. Дубовский

Москва, Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук"

ТЕМП ПРИРОСТА ВВП КАК РЕГРЕССИЯ ОТ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ*

Аннотация

В работе проанализированы внутренние и внешние факторы, влияющие на экономический рост стран, в частности России. Предложена макро модель в форме регрессии, где слева – темпы роста ВВП, а справа – регрессоры, основные контрольные эффекты: темп роста занятости, произведение доли валовых сбережений в ВВП на количество нанятых специалистов в области НИОКР, темп роста цен на нефть на мировом рынке. Проведены вычислительные эксперименты для оценки параметров регрессии по статистике России. Оценен вклад различных факторов в темпы экономического роста.

Ключевые слова:

глобализация, патернализм, инновации, валовое накопление, цена нефти, макро модель для темпов экономического роста, регрессия, сценарии для управляющих воздействий, прогнозирование.

S.V. Dubovsky

Moscow, FRC Computer Science and Control, RAS

RATE OF A GAIN OF GROSS NATIONAL PRODUCT AS REGRESS FROM INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS

Abstract

The internal and external factors influencing the economic growth of the countries, in particular, Russia, are analyzed. A macro model is proposed in the form of a regression, where on the left the GDP growth rate, and on the right the regressors – the main control effects: the employment growth rate, the product of the share of gross savings in GDP on the number of employed specialists in R & D, the growth rate of oil prices on the world market. Computational experiments are carried out to estimate regression parameters on the statistics of Russia. The contributions of various factors to the economic growth rate are estimated. Conclusions are given.

Keywords:

globalization, paternalism, innovations, gross accumulation, oil price, macro model for economic growth rates, regression, scenarios for control actions, forecasting

Макромодель для темпов динамики ВВП разрабатывается с учетом следующей последовательности процессов мирового развития, начавшихся в 70-х годах прошлого века. Универсальный принцип максимизации прибыли каждым элементом рыночных экономик соединяется с процессами глобализации. Это

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 14-11-00634)

объединение ведет к свободному перемещению по миру основных ресурсов развития: *информации, капитала, труда, рабочих мест и технологий*.

В результате корпорации и предприниматели получают новый мощный инструмент воздействия на рынок труда и рынок инвестиций: ввоз в более богатые страны дешёвого труда из бедных стран и вывоз рабочих мест из стран с дорогим трудом и жесткими экологическими ограничениями в бедные страны с дешёвым трудом и нежесткими экологическими ограничениями. В обоих случаях себестоимость производства продукции понижается, а прибыль увеличивается.

Соединение новейших технологий с дешёвым трудом ускоряет мировой экономический рост. Поэтому спрос на природные ресурсы может расти быстрее, чем их предложение. На таких интервалах цены на природные ресурсы растут, а на интервалах, где предложение выше спроса, падают. Этот эффект должен учитываться в макромоделли и при формировании сценариев будущего развития.

Достижения глобализации обесцениваются отрицательными последствиями. Растут безработица и уровень социальной напряженности в странах, откуда уходят рабочие места и капиталы. Снижается финансирование инновационного сектора экономики, где генерируются новые технологии. Появляются проблемы межэтнических взаимодействий и интеграции между аборигенами и мигрантами в странах, куда извне приходит дешёвый труд. Самое главное – мир в целом быстрее подходит к ограничениям в потреблении природных ресурсов, что выражается в росте их цен. Поэтому в XXI веке парадигма патернализма пытается потеснить парадигму глобализации, начинаются торговые войны за рынки сбыта с повышением пошлин, запретами на продажи технологий и введением политических барьеров.

Особую роль в развитии играет *механизм обновления технологий*, который ведет к росту производительности труда и уровня жизни. Он складывается из НИОКР (научных исследований и опытно-конструкторских разработок), где генерируются инновации, и инвестиций в промышленную реализацию удачных эффективных инноваций. В рыночных экономиках НИОКР реализуются в основном через систему стартапов при государственной и частной финансовой поддержке. В плановых экономиках НИОКР велись академическими и отраслевыми институтами, а также КБ при государственной финансовой поддержке. Снижение эффективности инноваций в США в 70-х годах прошлого столетия дало толчок к развитию глобализации. Сокращение российских НИОКР до 30% от уровня 1990 г. и вывоз капиталов за рубеж практически остановили возможности технологического обновления, роста производительности труда и экономического развития для России.

Макромодель для темпа прироста ВВП

Предполагается, что Y – ВВП является непрерывной и дифференцируемой функцией от K – капитала (производственных фондов), L – численности занятых, U – производительности труда (средней выработки ВВП на одного занятого, связанной с обновлением технологий), P – цены нефти марки Brent на мировом рынке:

$$Y = Y(K, L, U, P) \quad (1)$$

Дифференцируем эту функцию и формулируем аксиоматику в терминах макропоказателей, чтобы вычислить частные производные от ВВП по всем 4-м факторам.

$$dY = \frac{\partial Y}{\partial K} dK + \frac{\partial Y}{\partial L} dL + \frac{\partial Y}{\partial U} dU + \frac{\partial Y}{\partial P} dP \quad (2)$$

Эластичности ВВП по всем 4-м факторам определяем как следующие выражения:

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln K} = n, \quad \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln L} = (1-n)\alpha, \quad \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln U} = (1-n)\beta, \quad \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln P} = (1-n)\gamma, \quad (3)$$

где n – доля валового накопления в ВВП, α, β, γ – оцениваемые параметры.

Вычисляя с помощью выражений (3) частные производные и подставляя их в (2), получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = n \frac{\dot{K}}{K} + (1-n) \left[\alpha \frac{\dot{L}}{L} + \beta \frac{\dot{U}}{U} + \gamma \frac{\dot{P}}{P} \right] \quad (4)$$

При постоянной доле в ВВП валового накопления n уравнение (4) имеет интеграл в виде модифицированной функции Кобба-Дугласа.

$$Y = CK^n L^\alpha U^\beta P^\gamma, \quad (5)$$

где C – произвольная постоянная, общий множитель $(1-n)$ при параметрах α, β, γ может быть опущен.

Приняв гипотезу, что темпы прироста ВВП и действующего капитала совпадают, можно избавиться от переменной $K(t)$ и упростить уравнение (4) до следующего вида:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha \frac{\dot{L}}{L} + \beta \frac{\dot{U}}{U} + \gamma \frac{\dot{P}}{P} \quad (6)$$

Здесь темпы прироста численности занятых и цен на нефть обычно известны на историческом периоде или задаются в гипотетических сценариях для будущего. Проблемой является задание темпа прироста производительности труда (средней выработки ВВП на одного занятого), связанного с обновлением технологий. В [1] предлагается линейная зависимость этого темпа от доли занятых в НИОКР в общей занятости. В [2] предлагается логиста из тех же переменных. Но материализация новых технологий обязательно требует инвестиций. Поэтому для темпа прироста производительности труда здесь используется формула (7), выведенная в публикации [3]:

$$\frac{\dot{U}}{U} = \frac{\dot{F}}{K} \left(\frac{u}{U} - 1 \right) = \frac{\dot{F}}{Y} \frac{Y}{K} \left(\frac{u}{U} - 1 \right) = n\sigma \frac{Y}{K}, \quad (7)$$

где $\dot{F} = nY$ – валовое накопление, u – производительность труда на самых новых рабочих местах, $\sigma = [(u/U) - 1]$ – эффективность инноваций. Таким образом, темп прироста средней производительности труда, связанной с обновлением технологий, является произведением трех показателей: нормы валового накопления n , эффективности инноваций σ и фондоотдачи Y/K . Подставляя формулу (7) в формулу (6), получаем:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha \frac{\dot{L}}{L} + \beta n \sigma \frac{Y}{K} + \gamma \frac{\dot{P}}{P} = \alpha \frac{\dot{L}}{L} + b n \sigma + \gamma \frac{\dot{P}}{P} \quad (8)$$

Здесь коэффициент β заменен на b , поскольку он умножен на постоянную фондоотдачу. К сожалению, статистику $\sigma(t)$ не принято создавать непосредственно по технологиям, но она может быть заменена статистикой численности специалистов, занятых в НИОКР - $N(t)$. Поэтому окончательный вид предлагаемой регрессии после замены дифференциалов конечными приращениями можно записать так:

$$\frac{\Delta Y}{Y}(t) = \alpha \frac{\Delta L}{L}(t) + b n(t-1)N(t-1) + \gamma \frac{\Delta P}{P}(t), \quad (9)$$

где оцениваются коэффициенты α , b , γ .

Заметим, что регрессия (9) может быть трансформирована непосредственно в регрессию для ВВП с элементами авторегрессии:

$$Y(t) = \lambda Y(t-1) + \alpha \frac{\Delta L}{L}(t) Y(t-1) + b n(t-1)N(t-1) Y(t-1) + \gamma \frac{\Delta P}{P}(t) Y(t-1), \quad (10)$$

где λ , α , b , γ – оцениваемые коэффициенты.

Вычислительные эксперименты

Российская статистика для вычислительных экспериментов с макромоделью взята из сборников Росстата [4] с внесением всех поправок из последующих изданий. Графики и результаты оценки регрессии (9) на российской статистике приведены на рис.1:

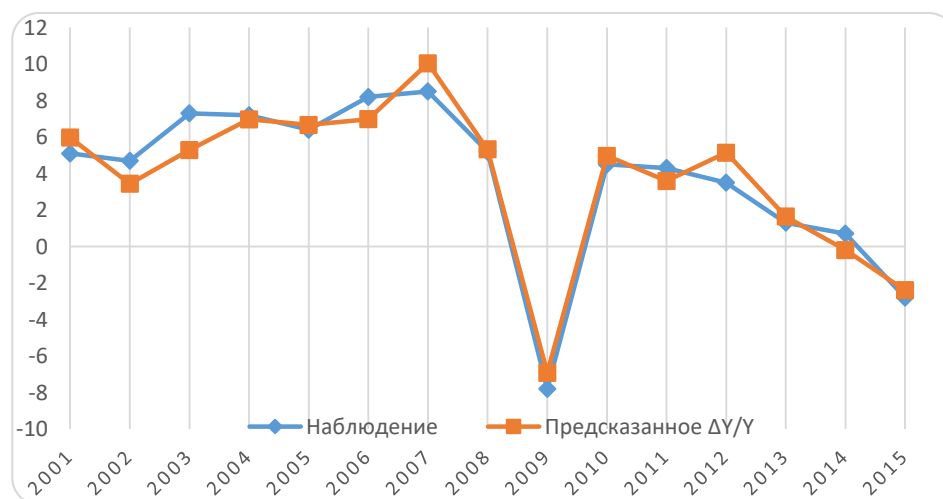


Рис. 1. Темп прироста российского ВВП как регрессия: $\Delta Y/Y = 7,14 \Delta L/L + 0,0249 n(t-1)N(t-1) + 4,792 \Delta P/P$; $R=0,9836$; $R^2= 0,9675$; $R^2_{norm} = 0,8788$; t - статистика: 13,82; 6,48; 4,23

Можно отметить близость графиков наблюдений и регрессии, высокие показатели корреляции и детерминации, удачное отражение кризиса 2008-2009 гг., статистическую значимость всех отраженных в регрессии факторов.

На регрессии проводились расчеты различных сценариев с сохранением НИОКР и вывозом капиталов. Гипотетический отказ от вывоза капиталов и сохранение хотя бы 60% численности специалистов в НИОКР порождают гипотетическое экономическое чудо, похожее на реальное китайское (см. рис. 2).

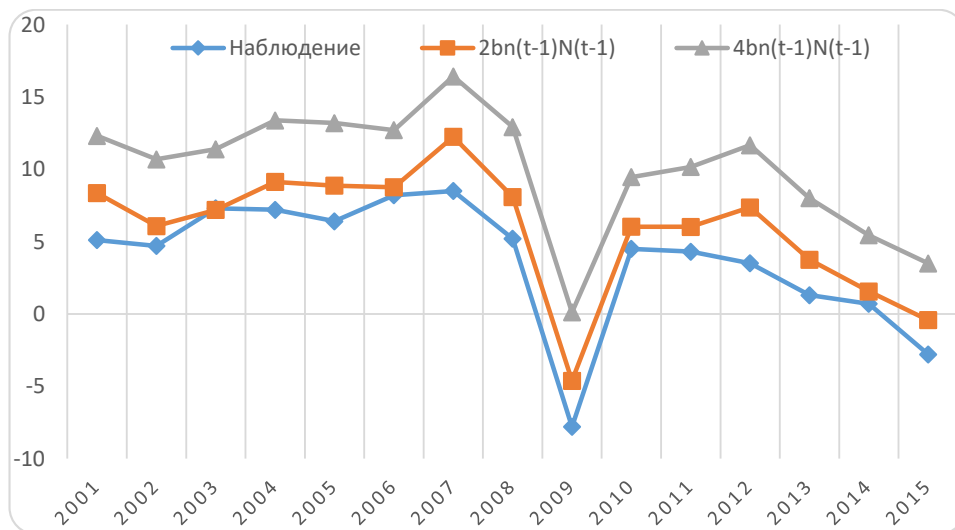


Рис.2. Наблюдаемые темпы прироста российского ВВП и они же, вычисленные с помощью регрессии при наблюдаемых занятости и цене на нефть, но измененном производстве нормы валового накопления и численности специалистов в НИОКР

Из использованных статистических данных и результатов вычислительных экспериментов следует, что новый российский механизм обновления технологий, возникший после 1991 г., не смог заменить прежний механизм. Технологии обновлялись только в ВПК и с помощью импорта зарубежного оборудования. Организованные стартапы не смогли заменить прежнюю систему НИОКР, поскольку не имели кадров и достаточной поддержки со стороны государственного и частного (в частности, семейного) финансирования. Средства, которые могли бы пойти на теоретическую разработку новых высокопроизводительных технологий и их материальное воплощение, вывозились за рубеж. Ощутимый экономический рост наблюдался только на участках резкого повышения цены нефти на мировом рынке, но он сменялся спадом, когда цена нефти падала. Избавление от сильной зависимости от мирового рынка нефти возможно только с созданием полноценного механизма обновления технологий: восстановления НИОКР и их связей с производством, а также повышения нормы валового накопления не менее, чем до 0,4.

Литература

1. Jones Ch. I. R&D-Based Models of Economic Growth. Journal of Political Economy, 103(4), 1995, pp. 759-784.

2. Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малков С.Ю., Соколов В.Н., Анализ и моделирование мировой и страновой экономики. М., ЛЕНАНД, 2016, С. 346.
3. Дубовский С.В. Научно-технический прогресс в глобальном моделировании. Изд. Наука. Системные исследования, ежегодник 1988 год, изд.1989г. С. 112-135.
4. Россия в цифрах. Краткий статистический сборник. М. Росстат. 1996-2017

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.016

УДК 004.9

Б.А. Кулик¹, А.Я. Фридман²

¹ Санкт-Петербург, Институт проблем машиноведения РАН.

² Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГЕБРЫ КОРТЕЖЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ЗНАНИЯХ

Аннотация

Для моделирования и анализа неопределенностей в искусственном интеллекте часто используются неклассические, в частности, немонотонные и модальные логики, так как считается, что классическая логика плохо приспособлена для их анализа. В докладе рассматриваются возможности унифицированного подхода к анализу различных видов неопределенности на основе разработанной авторами алгебры кортежей.

Ключевые слова:

анализ неопределенностей, унифицированный подход, алгебра кортежей

B.A. Kulik, A.Ya. Fridman

¹ Saint Petersburg, Institute for Problems in Mechanical Engineering, RAS

² Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

APPLICATION OF *N*-TUPLE ALGEBRA FOR MODELING AND ANALYSIS OF UNCERTAINTIES IN KNOWLEDGE

Abstract

To model and analyze uncertainties in artificial intelligence, non-classical, in particular, non-monotonic and modal logics are often used, since classical logic is believed to poorly fit for such an analysis. This paper proposes some opportunities to apply a unified approach to analysis of various types of uncertainty based on *n*-tuple algebra earlier developed by the authors.

Keywords:

uncertainty analysis, unified approach, n-tuple algebra.

Введение

Неопределенность в знаниях выражается в виде взаимоисключающих вариантов значений, интервалов, вероятностных оценок, различных гипотез и т.д. Для их моделирования и анализа в искусственном интеллекте в основном применяются неклассические, в частности, немонотонные и модальные логики, поскольку считается, что классическая логика плохо приспособлена для анализа этих неопределенностей [1 – 3]. Одним из видов неопределенности является некорректность, которая характеризуется парадоксальностью или противоречивостью знаний [4]. Кажущиеся неизбежными парадоксы и противоречия в знаниях привели многих исследователей к идее включения противоречий в логические теории, что в свою очередь инициировало широкое распространение паранепротиворечивых логик, в основе которых лежит опровержение классического принципа «Из противоречия следует все, что угодно» [5]. Но во многих случаях такой подход может помешать стремлению разобраться в истоках возникновения противоречий в знаниях и найти логическую ошибку в рассуждении.

В качестве методологической основы для использования классической логики при моделировании «неклассических» рассуждений выбрана разработанная авторами алгебра кортежей (АК), для которой доказан ее изоморфизм алгебре множеств [6].

Одним из возможных способов выражения и анализа неопределенности в знаниях является логико-вероятностный анализ, который подробно изложен в литературе по АК [6, 7] и здесь не рассматривается.

1. Неопределенности в виде вариантов значений и интервалов

В исчислении предикатов допускается только два способа представления переменных в формулах: полная неопределенность, когда используется имя переменной (например, x), и полная однозначность, когда вместо переменной подставляется константа или функция от нее. Для представления промежуточных состояний требуется усложнять формулу. В то же время в АК имеется возможность задавать варианты значений непосредственно в самих структурах. Например, условие «Если атрибут X принимает значения b, d или f , а атрибут Y – значения p или q » в АК можно выразить как C -кортеж $R[XY] = [\{b, d, f\} \{p, q\}]$.

Если задана логическая система в виде множества посылок A_i , то конъюнкция этих посылок представляет формулу, содержащую некоторое множество выполняющих подстановок, их число в общем случае больше двух. А это означает, что в системе рассуждений могут содержаться взаимоисключающие варианты, уточняющиеся по мере поступления новых данных. Но в логических формулах эта вариативность далеко не всегда явно проявляется (например, подстановка в формулу допускается только в виде одиночных значений), в то время как в АК всегда существует возможность задать значение переменной (атрибута) в виде множества вариантов.

Для систем, у которых переменные заданы в виде систем интервалов, в АК разработан метод квантования интервалов, с помощью которого система интервалов одной переменной представляется в виде множества элементарных интервалов (квантов), а каждый интервал выражен как множество квантов [6]. Для систем, у которых переменные представлены конечными упорядоченными множествами или конечной системой интервалов разработана на основе АК математическая модель с метрикой. В этой модели можно решать задачи кластеризации [8].

2. «Немонотонные» рассуждения и модальности

В классическом варианте математической логики монотонность есть неотъемлемое свойство логического вывода. Суть его такова: если из некоторого множества посылок Γ выводится предложение B , то при добавлении во множество Γ любой посылки (например, A) предложение B также должно выводиться. В алгебре множеств свойство монотонности выражается таким законом: пусть для множеств G и B справедливо соотношение $G \subseteq B$, тогда $(G \cap A) \subseteq B$, где A — любое множество. Классический подход на основе алгебры кортежей к анализу рассуждений, для которых в современных публикациях по ИИ принято использовать немонотонные логики, рассмотрен в [6, 9].

Также рассматривались модели рассуждений, где рекомендуется применять *модальные логики*. При анализе реальных задач, для решения которых используются модальные логики, оказалось, что в ряде случаев их формализация упрощается, если вместо модальных операторов использовать механизм проверки гипотез или анализ возможных вариантов решения. В качестве одного из примеров рассмотрим задачу о трех мудрецах [3]. Суть задачи в следующем. Король, желая проверить проницательность трех своих мудрецов, нарисовал им белые пятна на лбах. При этом предупредил их, что пятна могут быть белыми, либо черными, но не может быть черных пятен у всех троих. Каждый мудрец видит цвет пятен у других, но не у себя. Требуется, чтобы нашелся мудрец, определивший цвет собственного пятна.

Традиционно для решения задачи используется мультимодальная логика знаний, где операторы типа $[i]$ означают « i -й мудрец знает, что...» [3]. Ниже приводится простое решение, основанное на АК и анализе гипотез.

Пусть атрибутами X, Y, Z системы являются мудрецы, значение 0 означает, что у данного мудреца белое пятно, а значение 1 — черное. Ситуация $T[XYZ] = [\{1\} \{1\} \{1\}]$ с тремя черными пятнами в системе невозможна, поэтому все допустимые варианты можно выразить с помощью C -системы

$$R[XYZ] = \bar{T}[XYZ] = \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ * & \{0\} & * \\ * & * & \{0\} \end{bmatrix}.$$

Предположим, что какой-то мудрец (например, X) видит перед собой два черных пятна. Это можно выразить формулой $V_X = [* \{1\} \{1\}]$. Если вычислить пересечение $R[XYZ] \cap V_X$, то получим C -кортеж $[\{0\} \{1\} \{1\}]$, что означает наличие у мудреца X белого пятна на лбу. Назовем ситуации $V_X = [* \{1\} \{1\}]$, $V_Y = [\{1\} * \{1\}]$ и $V_Z = [\{1\} \{1\} *]$ разрешимыми: если какая-то из них имеет место, то эксперимент заканчивается, так как один из мудрецов точно знает, что у него на лбу белое пятно. Предположим, мудрец X видит перед собой черное и белое пятно, например, $V_X = [* \{1\} \{0\}]$. Тогда он может выдвинуть две гипотезы: $H_1 = [\{1\} \{1\} \{0\}]$ и $H_2 = [\{0\} \{1\} \{0\}]$. Гипотеза H_1 выражает разрешимую ситуацию, поэтому исключается, истинной может быть только гипотеза H_2 . Отсюда следует, что ситуации, в которых присутствует хотя бы один мудрец с черным пятном, также разрешимы. Теперь, если мудрец (например, X) видит перед собой два белых пятна, $V_X = [* \{0\} \{0\}]$, то он должен проверить две гипотезы: $H_1 = [\{1\} \{0\} \{0\}]$ и $H_2 = [\{0\} \{0\} \{0\}]$. Гипотеза H_1 выражает разрешимую ситуацию, поэтому исключается. Тогда истинной может быть только гипотеза H_2 .

3. Анализ противоречий

В науке противоречия считаются индикаторами некорректности, и их обнаружение стимулирует новые исследования с целью уточнения и развития наших знаний. Рассмотрим особенности противоречий в естественных рассуждениях. В математической логике (формальное) противоречие распознается как ситуация, при которой логическая формула, представляющая рассуждение, является тождественно ложной [10]. В работах авторов показаны различные методы элиминации противоречий. К ним, в частности относятся: 1) методы корректировки посылок в рассуждении [9] и 2) с помощью добавления в противоречащие правила новых переменных [11].

В [11] на примере логического анализа пресуппозиций показано, что противоречие в подобных ситуациях возникает не вследствие логической ошибки в посылках, а из-за того, что в рассуждении не учитывается некоторый параметр, который во многих случаях подразумевается, но явно не выражен.

Заключение

Результаты исследования показывают, что классический подход к моделированию некоторых неопределенностей в системах знаний позволяет интегрировать разнообразные методы решения этой проблемы с помощью разработанной авторами алгебры кортежей. Показаны возможности классического подхода к логическому анализу рассуждений, в которых рекомендуется применять неклассические логики.

Работа частично поддержана грантами РФФИ (проекты №№ 18-29-03022-мк, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а и 19-08-00079-а).

Литература

1. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Пospelova. 2-е издание дополненное и исправленное. ФИЗМАТЛИТ. 2008.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. / пер. с англ.; ред. К.А. Птицына. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.
3. Тейз А. и др. Логический подход к искусственному интеллекту: от модальной логики к логике баз данных. М.: Мир, 1998.
4. Нариньяни А. С. Инженерия знаний и НЕ-факторы: краткий обзор-08 // Вопросы искусственного интеллекта. Вестник НСММИ РАН. 2008. №1. С 61-77.
5. Ишмуратов А. Т., Карпенко А. С., Попов В. М. О паранепротиворечивой логике. // В кн.: Синтаксические и семантические исследования неэкстенциональных логик. М., 1989; С. 261-284.
6. Кулик Б. А., Зуенко А. А., Фридман А. Я. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
7. Кулик Б. А. Вероятностная логика на основе алгебры кортежей // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 1. С. 118-127.
8. Кулик Б. А., Фридман А. Я. Интеграция технологий логико-семантического анализа и классификации на основе отношений с упорядоченными значениями атрибутов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы:

- материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 355-362.
9. Boris Kulik, Alexander Fridman. N-ary Relations for Logical Analysis of Data and Knowledge, IGI Global, 2017.
 10. Mendelson E. Introduction to Mathematical Logic. 6th ed. Taylor & Francis Group. 2015.
 11. Boris A. Kulik, Alexander Ya. Fridman. Techniques to Detect and Eliminate Inconsistencies in Knowledge Bases of Interacting Robots. / Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems. Group .Interaction. / Springer International Publishing. 2019.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.017
УДК 004.89, 338.24

А.В. Маслобоев, В.А. Путилов

Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

РОЛЬ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Аннотация

В работе рассматривается роль ситуационных центров в управлении региональной безопасностью в условиях цифровой экономики. Представлены исторические этапы развития ситуационных центров в России. Определяются цели и задачи ситуационных центров в сфере государственного и регионального управления. Приводятся проблемы и пути развития системы распределенных ситуационных центров. Дана характеристика ситуационных центров Мурманской области и обоснована необходимость их совершенствования.

Ключевые слова:

информационные технологии, ситуационный центр, региональная безопасность, цифровая экономика, сетевое управление.

A.V. Masloboev, V.A. Putilov

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

THE ROLE OF SITUATIONAL CENTERS IN REGIONAL SECURITY MANAGEMENT UNDER DIGITAL ECONOMY

Abstract

The role of situational centers in the regional security management under digital economy is considered. Situational center evolution and legal regulations in Russia are represented. Goals and objectives of situational center application for public and regional administration are defined. Development problems and lines of the distributed situational center system are discussed. Situational center concept description of Murmansk region is given and its upgrading necessity is justified.

Keywords:

information technologies, situational center, regional security, digital economy, network-centric control.

В настоящее время цифровизация государственного и регионального управления является общемировой тенденцией. Потенциал цифровых технологий в управлении социально-экономическими системами охватывает все этапы управления – от сбора данных, мониторинга и анализа слабоструктурированной информации до прогнозирования различных вариантов развития ситуаций, непрерывного форсайта и формирования рекомендаций для принятия решений в процессе оперативного, тактического и стратегического планирования и управления. Эффективным инструментом ситуационного управления сегодня являются ситуационные центры (СЦ), способные в реальном масштабе времени обрабатывать огромные потоки разноплановой информации о влиянии различных угроз на состояние социально-экономических систем, вследствие чего потребности в СЦ возрастают с каждым днем [1]. Система распределенных СЦ позволяет создать условия для обеспечения целенаправленности процессов управления и координации принятия решений в многоуровневой распределенной управленческой среде при высоком уровне рисков и неопределенности причин возникающих кризисных событий. Создание таких условий на основе внедрения цифровых технологий во все сферы государственного управления посредством СЦ крайне необходимо для повышения эффективности современной системы обеспечения национальной и региональной безопасности, а также для поддержания риск-устойчивого развития экономики нашей страны.

В развитии СЦ в России для задач государственного управления и обеспечения региональной безопасности можно условно выделить пять основных этапов:

1. 1986-1996 гг. – идея создания СЦ и первый опыт;
2. 1997-2007 гг. – разработка и ввод в эксплуатацию отдельных СЦ, формирование типовых функциональных и информационных элементов СЦ;
3. 2008-2012 гг. – массовое внедрение СЦ в практику работы органов государственной власти;
4. 2013-2017 гг. – создание системы распределенных СЦ, работающих по единым организационным и техническим регламентам;
5. с 2018 г. по настоящее время – развитие и расширение системы распределенных СЦ за счет разработки и внедрения новых моделей ситуационной осведомленности, а также формирования сети виртуальных когнитивных центров ситуационного управления.

СЦ позволяют реализовать новый формат управления региональной безопасностью, прежде всего, на основе создания особого информационно-технологического пространства для проблемного мониторинга и прогнозирования показателей безопасности региональных социально-экономических систем, а также для координации децентрализованного принятия решений и контроля их исполнения.

Сегодня представления об СЦ, как просто ситуационном зале, отошли на второй план. Приоритеты при создании СЦ смещаются в содержательную область. В условиях дефицита времени на выработку и реализацию управленческих решений, особенно в различных сферах безопасности, генеральной целью системы обеспечения региональной безопасности становится комплексное, эффективное и оптимальное ситуационное управление. Эта цель -

одна из ключевых при решении экономических и социальных проблем средствами СЦ федерального и регионального уровней. Для достижения этой цели в нашей стране создается пространственно-распределенная сеть СЦ – принципиально нового класса информационно-управляющих систем, предназначенных для повышения эффективности принятия решений органами государственного управления в социально-экономической и общественно-политической сферах [2]. Эти системы в рамках СЦ должны обеспечивать целеполагание, формализацию функциональных задач, мониторинг, комплексный анализ вероятных сценариев развития чрезвычайных (кризисных) ситуаций, формирование взаимоувязанных баз данных и обобщенных метаданных (базы знаний) и их оперативную аналитическую обработку для организации стратегического планирования и контроля качества реализации антикризисных мероприятий, а также координации сил, средств и ресурсов по обеспечению региональной и национальной безопасности страны.

Основными целями создания системы распределенных СЦ являются [2]:

- обеспечение информационно-аналитической поддержки государственного и регионального управления, стратегического планирования и мониторинга реализации комплексных планов обеспечения национальной безопасности и риск-устойчивого развития экономики страны;
- повышение эффективности государственного и регионального управления в мирное и в военное время, в том числе при возникновении чрезвычайных (кризисных) ситуаций за счет использования информационных и технологических возможностей СЦ, обеспечивающих анализ, оценку, прогнозирование изменения обстановки и поддержку принятия управленческих решений.

Главной задачей сетевидной системы СЦ является информационная поддержка управления – формирование ситуационной осведомленности и выработка рекомендаций для согласованного принятия управленческих решений на всех уровнях управления. Эта задача пока еще остается открытой как у нас, так и за рубежом, не имеет окончательного решения и, поэтому, требует детальной научной и экспериментальной проработки [3].

Основания для проведения работ по разработке СЦ и развитию сетевидной системы СЦ определяются рядом нормативных документов, принятых на государственном уровне:

- Указ Президента РФ «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» от 12 мая 2009 г. №637;
- Комплекс мер по исполнению Комплексного плана мероприятий по реализации Стратегии национальной безопасности РФ и Основ стратегического планирования в РФ;
- Указ Президента РФ «О формировании системы распределенных СЦ, работающих по единому регламенту взаимодействия» от 25 июля 2013 г. №648;
- Концепция создания системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия» от 3 сентября 2013 г. № Пр-2308;
- План первоочередных мероприятий, направленных на формирование и обеспечение функционирования системы распределенных ситуационных центров от 5 октября 2013 г. № Пр-2363;

- Концепция информационной безопасности системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия (протокол №1 Межведомственной комиссии по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 5 декабря 2013 г.);

- Единый регламент взаимодействия распределенных ситуационных центров (протокол №2 Межведомственной комиссии по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 7 мая 2015 г.);

- Методические рекомендации по созданию и вводу в эксплуатацию ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия (протокол №2 Межведомственной комиссии по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 7 мая 2015 г.);

- Указ Президента РФ «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» от 31 декабря 2015 г. N 683;

- Указ Президента РФ «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» от 13.05.2017 г. № 208.

Перечислим основные этапы создания системы распределенных СЦ:

- I этап (2012 г.) – разработка и утверждение концепции создания системы распределенных СЦ;

- II этап (2014 г.) - разработка и утверждение единого регламента взаимодействия и методических рекомендаций по созданию СЦ, ввод в эксплуатацию опытного района системы распределенных СЦ;

- III этап (2015 г.) – создание и ввод в эксплуатацию Центра управления и координации системы распределенных СЦ, завершение создания системы и развитие ее функциональных возможностей;

- IV этап (2016 г.) – разработка системного проекта на создание системы распределенных СЦ;

- До 2020 г. – реализация Плана по модернизации действующих и созданию новых СЦ (поручение Правительства РФ).

- Общие функции региональных и федеральных СЦ в составе системы распределенных СЦ:

- поддержка управленческой деятельности на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях принятия решений;

- разработка и информационно-аналитическое сопровождение реализации эффективных стратегий развития государства и Субъектов РФ, а также системы обеспечения региональной безопасности;

- прогнозирование непредвиденных явлений и событий в социально-экономической и общественно-политической сферах на основе комплексного мониторинга, анализа и оценки оперативной обстановки как в стабильных, так и в критических условиях, а также тенденций и закономерностей развития региональных кризисных ситуаций;

- многофакторный анализ текущей ситуации по результатам мониторинга;

- формирование рекомендаций лицам, принимающим решения, по оперативному реагированию в случае чрезвычайных обстоятельств;

- интеграция систем информационной поддержки государственного и регионального управления в единое информационное пространство для повышения эффективности работы системы обеспечения региональной

безопасности, построенной на базе СЦ, с точки зрения качества и оперативности формирования и анализа информации для принятия решений.

Основные задачи СЦ управления региональной безопасностью в рамках системы распределенных СЦ:

регулярно проводимый по определенной программе мониторинг и контроль внутренних и внешних угроз региональной безопасности для оценки состояния развития региона, оценки происходящих в нем процессов и своевременного выявления негативных тенденций их изменения;

сценарный анализ и прогнозирование состояния процессов эффективного развития региона и показателей его безопасности в различных измерениях;

программно-целевое планирование на перспективу и постановка задач оптимального распределения ресурсов для достижения поставленных целей безопасного развития региона, формирование соответствующих программ управления и проектов решений;

регулирование процессов реализации программ управления и проектов решений в целях эффективного развития и обеспечения безопасности региона.

Необходимость увязки развития СЦ с направлениями модернизации российской экономики и трансформации системы государственного управления обусловлена четырьмя факторами [4]:

- для осуществления стратегического, тактического и оперативного планирования мер по обеспечению безопасности социально-экономического развития государства и субъектов РФ существует объективная необходимость обмена информацией между СЦ Президента, Правительства РФ и других органов государственной власти, а также СЦ регионального уровня;

- работы по проектированию и созданию СЦ в ряде министерств и Субъектах РФ ведутся без учета необходимости их интеграции с действующими СЦ;

- необходимо провести работу по созданию единого информационного пространства субъектов РФ, а также по разработке и внедрению информационно-аналитических систем для поддержки принятия управленческих решений во все сферы регионального управления;

- в настоящее время уже разработаны концептуальные подходы к созданию системы распределенных СЦ и использованию доверенной программно-аппаратной среды на основе специальных средств защиты информации.

В Мурманской области также создаются СЦ, которые предназначены для поддержки оперативного принятия управленческих решений и мониторинга социально-экономической ситуации в регионе. Однако на текущий момент они находятся еще в стадии развития. По экспертным оценкам на апрель 2019 г. проектирование и разработка СЦ Главы Мурманской области практически завершена – общая готовность СЦ к эксплуатации составляет 50%, в том числе выполнение технического задания - 100%, реализация проекта – 100%, готовность аппаратного комплекса – 80%, готовность программного комплекса – 20%. Дополнительно требуется создание и внедрение средств интеллектуальной поддержки принятия решений в работу этого СЦ, а также развертывание и настройка информационно-коммуникационной инфраструктуры СЦ для стыковки с другими СЦ региона и интеграции в сетевую систему СЦ.

Отдельные ведомства, отвечающие за различные стороны региональной безопасности, являются организационно разобщенными и имеют разные цели и сферы интересов. Поэтому управлять ими и координировать их деятельность чрезвычайно

трудно. Для повышения эффективности их деятельности предлагается формирование единого информационного пространства СЦ, как попытка объединить их всех под эгидой сетецентрического управления [5]. Это будет способствовать решению существующих проблем управления региональной безопасностью, особенно в условиях перехода государства к цифровой экономике.

Результаты исследования будут использованы при реализации основных направлений государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года в части разработки методов и средств поддержки принятия решений для информационно-аналитического обеспечения региональных СЦ в Мурманской области.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИИММ КНЦ РАН (тема НИР № 0226-2019-0035) и частично поддержано РФФИ (проект 18-29-03022-мк).

Литература

1. Маслобоев А.В. Концепция Центра перспективных исследований и обеспечения безопасности Арктики // Арктика: экология и экономика. - 2019. - №2(34). – С. 129-143.
2. Салухов В.И., Соколов Б.В. Информационно-методические основы формирования системы распределенных ситуационных центров и центров компетенций // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем: материалы II Междунар. науч. конф. – Нальчик: КБНЦ РАН, 2018. - С. 72-76.
3. Oleynik A., Fridman A., Masloboev A. Informational and analytical support of the network of intelligent situational centers in Russian Arctic // CEUR Workshop Proceedings. 2018. vol. 2109. pp. 57-64.
4. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Пухов Г.Г. Методология и технологии создания и использования систем поддержки принятия решений в ситуационных центрах при управлении сложными объектами // Материалы XI Российской мультikonференции по проблемам управления. – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2018. - С. 17-30.
5. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 222 с.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.018
УДК 004.9

А.Г. Олейник, А.Я. Фридман

Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНЫХ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРОЕКТАХ*

* Работа частично поддержана грантами РФФИ (проекты №№ 18-29-03022-мк, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а и 19-08-00079-а).

Аннотация

Разработаны принципы развития технологий и методов интеллектуального анализа ситуаций для информационно-аналитического обеспечения работы системы (сети) когнитивных ситуационных центров Арктической зоны РФ на основе моделирования ситуаций в обобщенных концептуальных пространствах. В качестве примера в компонентный состав комплексного концептуального пространства региональной социально-экономической системы включены «предметные» концептуальные пространства пресноводных экосистем западной части Арктической зоны РФ и нижней атмосферы Земли в высоких широтах. Предложен подход к формированию на основе базовых «предметных» концептуальных пространств комплексного концептуального пространства, способного обеспечить классификацию ситуаций в промышленно-природных комплексах с междисциплинарной точки зрения.

Ключевые слова:

интеллектуальный анализ ситуаций, когнитивный ситуационный центр Арктической зоны РФ, комплексное концептуальное пространство.

A.G. Oleynik, A.Ya. Fridman

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

STRUCTURE OF INTEGRATED CONCEPTUAL SPACES IN INTERDISCIPLINARY PROJECTS

Abstract

Basic principles to develop technologies and methods of intelligent situational analysis for information and analytical support of the system (network) of cognitive situational centers of the Arctic zone of the Russian Federation based on modeling situations in generalized conceptual spaces have been developed. As an example, the component composition of the complex conceptual space of the regional socio-economic system includes "subject" conceptual spaces of freshwater ecosystems in the western part of the Arctic zone of the Russian Federation and the lower atmosphere of the Earth at high latitudes. An approach to the formation of a complex conceptual space based on "subject" conceptual spaces and capable of providing a classification of situations in industrial and natural complexes from an interdisciplinary point of view is proposed.

Keywords:

intelligent analysis of situations, cognitive situational center of the Arctic zone of the Russian Federation, complex conceptual space.

Введение

Развитие системы распределенных ситуационных центров (СЦ) рассматривается как основа цифровой трансформации государственного управления. Одним из ключевых компонентов, обеспечивающих эффективность СЦ, являются инструменты компьютерного анализа и прогнозного моделирования рассматриваемых ситуаций [1]. В настоящей работе исследованы возможности оснащения СЦ гражданского назначения унифицированным программно-алгоритмическим обеспечением на основе развития ситуационного подхода в рамках технологий и методов интеллектуального анализа ситуаций для информационно-аналитического обеспечения работы системы (сети) когнитивных СЦ.

1. Понятие концептуального пространства

Первая особенность предлагаемого подхода к моделированию ситуаций состоит в том, что оно проводится в обобщенных концептуальных пространствах атрибутов исследуемых объектов. Концептуальные пространства (КП) [2, 3]) представляют собой геометрические структуры, основанные на размерностях качества (quality dimensions – QD), которые определяют степень схожести или различия объектов. Суждения о сходстве и различии обычно порождают упорядочивающее отношение на множестве объектов. В частности, к размерностям качества относятся цвет, высота звука, температура, вес и три обычных пространственных измерения. Некоторые размерности тесно связаны с типами информации, которая анализируется нашими сенсорными рецепторами, но есть и абстрактные QD. Для преобразования суждений о сходстве в концептуальное пространство обычно используется многомерное шкалирование [4]. В концептуальных пространствах объекты характеризуются набором атрибутов или качеств. Каждое качество принимает значения в определенном домене [5], которые могут быть непрерывными или дискретными. Объекты идентифицируются точками в КП, представляющем собой декартово произведение доменов, а понятия есть области в этом пространстве. Отношения сходства (similarity relations) фундаментальны для концептуальных пространств. Они фиксируют информацию из суждений о сходстве. Чтобы моделировать некоторые отношения сходства, каждое КП наделяют мерой расстояния.

2. Структура комплексного КП АЗРФ

В рассматриваемой задаче в качестве верхнего уровня при формировании комплексного концептуального пространства (ККП) региона предлагается использовать подмножество общепринятых интегрированных показателей социально-экономического развития регионов, включающее, в частности: уровень жизни населения; индекс промышленного производства; индексы инвестиций. Разработана первичная структура иерархии, представляющей декомпозицию (с использованием типов отношений «и» и «или») интегральных показателей состояния региональной системы по трем критериям: отраслевой (характеристики и показатели ведущих отраслей промышленности Мурманской области и отдельных крупных предприятий); территориальный (характеристики и показатели систем и объектов различной природы, имеющих общую территориальную локализацию); организационно-управленческий (характеристики и показатели систем и объектов, связанных отношениями «подчиненности»). Реальные системы и объекты могут быть представлены как только в одной ветви декомпозиции, так и во всех трех. При этом свойства, принимаемые во внимания при рассмотрении одного и того же реального объекта в разных ветвях декомпозиции, могут отличаться. Как принято в общей теории иерархических систем [6], иерархии анализируются сверху вниз, на каждом шаге анализа рассматриваются два соседних уровня, причем ЛПР вышележащего уровня, кроме собственной задачи управления, решают задачу координации взаимодействий подведомственных им ЛПР нижележащего уровня декомпозиции.

Параметры КП более высокого уровня декомпозиции формируются путем процедур свертки параметров концептуальных пространств, соответствующих нижележащему (описываемому более детально) уровню.

Параметры концептуальных пространств нижележащих уровней выявляются в соответствии с объективным подходом к анализу эффективности сложных систем [7] путем исследования чувствительности модели вышележащего уровня к их характеристикам. Новизна процедур анализа чувствительности состоит в том, что сигналы обратной связи от нижележащего уровня к вышележащему масштабируются с учетом ситуационной осведомленности (СО, например, [8]) лиц, принимающих решения (ЛПР), которые отвечают за формирование этих сигналов. Для реализации указанных процедур разработан метод числовой оценки СО в иерархических [9] и сетевых [10] структурах, что позволяет моделировать любые возможные взаимодействия между различными промышленно-природными комплексами (ППК), входящими в состав региона.

3. Формирование комплексного КП АЗРФ

Формирование регионального КП происходит следующим образом:

- строятся модели региональных ППК_i и формируются их КП_i;
- выполняется анализ чувствительности показателей качества региона к изменениям атрибутов КП_i, по результатам анализа выделяется подпространство существенных (для региона) атрибутов КП_{i0};
- по атрибутам, входящим в КП_{i0}, выполняется числовая оценка степени СО (ССО_i) для каждого ЛПР_i;
- КП_{i0} используются для формирования КП, причем важность каждого КП_{i0} для региона устанавливается пропорционально ССО_i.

Анализ данных многолетнего мониторинга позволил выявить факторы, связывающие концептуальное пространство экологической ситуации на крупных пресноводных водоемах и других природных объектах Арктической зоны с динамикой нижней атмосферы Земли в высоких широтах и деятельностью региональных промышленных комплексов.

Изложенное иллюстрируется рисунком 1, где для удобства восприятия границы ППК_i отделены друг от друга, хотя в реальности, разумеется, ППК_i могут пересекаться территориально и даже функционально. Условными значками в нижней части рисунка отображено размещение на территории Хибинского ППК ряда промышленных, спортивно-туристических и экологических объектов. Верхняя часть рисунка представляет соответствующий фрагмент дерева объектов концептуальной модели [11] рассматриваемых ППК_i. Этот фрагмент включает показанные на карте объекты O_i , качество работы каждого из них оценивается согласно критерию Φ_i . В общем случае, за каждый объект может отвечать отдельный (локальный) ЛПР, формирующий управляющие сигналы u_i на основании информации о состоянии x_i подведомственного ему объекта. Координатор ответственен за согласование решений локальных ЛПР, для чего он имеет право формировать настроечные параметры их критериев качества a_{i0} и Δa_i , зная относительные отклонения δa_i текущих значений этих критериев от номинальных значений, заданных им ранее.

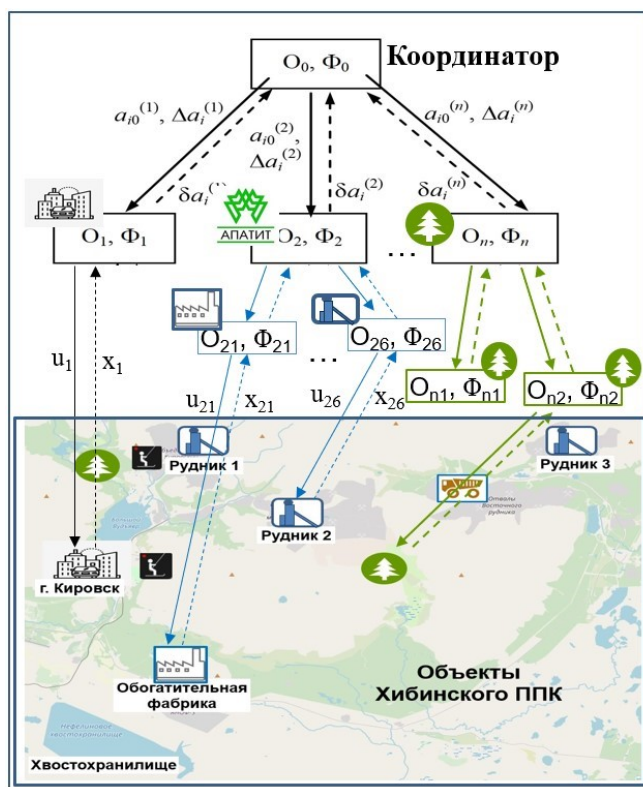


Рис. 1. Концептуальная модель и концептуальное пространство.

Заключение

В ходе дальнейшей разработки представленного направления предполагается выполнить исследования и сбор информации по следующим направлениям:

- анализ сформированного ККП с целью снижения его размерности на основе агрегирования исходных измерений и/или переменных состояния и разработка механизмов выделения подпространств, включающих ограниченные наборы измерений, существенных с точки зрения исследуемой ситуации и/или целей управления, а также выявления наиболее эффективных альтернатив управленческих решений для каждого из предполагаемых сценариев развития АЗРФ;
- развитие и модификация используемых «предметных» моделей, обеспечивающих расчет или вывод исходных данных для формирования компонентов размерностей комплексного концептуального пространства;
- разработка методов координации допустимых управляющих воздействий на объект управления на основе выявленных связей между измерениями ККП с целью построения логико-семантической модели когнитивного отображения ситуаций, позволяющего реализовать все допустимые сценарии развития АЗРФ;
- разработка методов выработки стратегий координации управления в ККП для достижения целевых состояний различных типов при

возможных изменениях предпочтений ЛПП относительно подведомственных им компонентов АЗРФ;

- развитие комплекса моделей анализа ситуаций в ККП и механизмов управления процессами моделирования в соответствии с выбранной стратегией координации управления и методов оценки ситуационной осведомленности при различных стратегиях, учитывающих аспекты надежности и безопасности функционирования моделируемого ППК.

Литература

1. <https://spbu.ru/news-events/calendar/sistema-raspredelennyh-situacionnyh-centrov-kak-osnova-cifrovoy-transformacii>
2. Gärdenfors P. *Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces*. MIT Press, 2014.
3. Zenker F., Gärdenfors P. *Communication, Rationality, and Conceptual Changes in Scientific Theories*. In: *Applications of Conceptual Spaces. The Case for Geometric Knowledge Representation*. Ed. by F. Zenker and P. Gärdenfors. Synthese Library. Springer, 2014. vol. 359. pp. 259–277.
4. Толстова Ю.Н. *Основы многомерного шкалирования*. М.: КДУ, 2006.
5. Gardenfors P., Lohndorf S. What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations // *Cognitive Linguistics*. 2013. vol. 24, no. 3. pp. 437-456.
6. Месарович М., Мако Д., Такахага И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. М.: Мир, 1973.
7. Бусленко Н. П. *Моделирование сложных систем*. М.: Наука, 1978.
8. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // *J. of Cognitive Engineering and Decision Making*. 2015. vol. 9. no. 1. pp. 101–111.
9. Oleynik A., Fridman A., Masloboev A. Informational and analytical support of the network of intelligent situational centers in Russian Arctic // *IT&MathAZ 2018 Information Technologies and Mathematical Modeling for Efficient Development of Arctic Zone // Proceedings of the International Research Workshop on Information Technologies and Mathematical Modeling for Efficient Development of Arctic Zone*. Yekaterinburg, Russia, April 19-21, 2018, pp. 57-64.
10. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивный подход к оценке ситуационной осведомленности в сетевых системах гражданского назначения // *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы V Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием*. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020 (в печати).
11. Фридман А.Я. Ситуационное моделирование иерархических динамических систем // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*, № 1(9)/2018, с. 5-15.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.019
УДК 519.834; 519.87; 519.812

А.В. Смирнов, Н.Н. Тесля

Санкт-Петербург, СПИИРАН

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ КОАЛИЦИИ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УМНЫХ КОНТРАКТОВ*

Аннотация

В процессе достижения общей цели коалиция автономных роботов может столкнуться с развитием ситуации, требующим оперативного принятия решений для сохранения первоначально согласованного плана действий. В этом случае предложено применять механизмы адаптивного децентрализованного планирования, основанные на модели социо-инспирированной самоорганизации и реализуемые с помощью оригинального протокола переговоров между роботами. Переговоры осуществляются посредством выполнения умных контрактов, осуществляющих обработку предложений роботов, их сохранение и распространение в распределенном реестре, реализуемом в среде HyperLedger Fabric.

Ключевые слова:

коалиция, планирование, умный контракт, самоорганизация, социо-инспирированность, распределенный реестр.

A.V. Smirnov, N.N. Teslya

Saint Petersburg, SPIIRAS

DECENTRALIZED ACTION PLANNING IN ROBOT COALITION USING SMART CONTRACTS

Abstract

During a common goal achieving, a coalition of autonomous robots may face a situation that requires prompt decision-making in order to maintain an initially agreed action plan. In this case, it is proposed to use adaptive decentralized planning mechanisms based on the model of socio-inspired self-organization and implemented using the original protocol of negotiations between robots. Negotiations are carried out through the execution of smart contracts that process robots' proposals. The contracts are storing and distributing in a distributed ledger implemented with the HyperLedger Fabric platform.

Keywords:

coalition, planning, smart contract, socio-inspiration, self-organization, distributed ledger.

Развитие робототехники и систем искусственного интеллекта позволило создавать роботов с высоким уровнем автономности. При подключении роботов к информационной сети позволяет организовать совместную работу роботов. Существует множество моделей совместной работы роботов, такие как рои, стаи и коалиции, каждая из которых отличается свободой одного участника. В отличие от роботов в роях и стаях, где действия каждого участника ограничены строгими

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-07073.

правилами и действиями ближайших соседей, роботы в коалициях рассчитывают свои следующие шаги на основе общей цели, достигаемой в соответствии с текущим состоянием коалиции, и набора альтернатив, предусмотренных нормами коалиции. Есть много предметных областей, которые требуют использования коалиции роботов для решения сложных задач, включая промышленные киберфизические системы, точное земледелие, и дистанционное или локальное исследование космических объектов. Сложные задачи в каждой такой области приложений могут быть разбиты на несколько небольших простых задач (например, в точном земледелии задачу получения урожая можно разбить на сканирование рельефа, проверку состава почвы, выбор и посадка растений или посев семян в почву, полив), которые решаются одиночными роботами 1. Для формирования коалиции роботы предоставляют свои компетенции и выбирают задачи, которые они могут выполнять.

Роботы взаимодействуют через интеллектуальное киберфизическое пространство, созданное на основе концепции интеллектуального пространства (с использованием концепции «классной доски») и расширенными возможностями распределенного реестра и умных контрактов на базе технологии блокчейн 2. В пространстве обеспечивается возможность организации базового взаимодействия роботов в физическом и информационном (кибер) пространстве. Взаимодействие включает в себя индивидуальные и совместные манипуляции с физическими объектами, обмен информацией о текущем состоянии роботов и объектов для планирования дальнейших совместных действий во время формирования коалиции. Использование умных контрактов направлено на описание базовых взаимодействий между роботами в ходе формирования коалиции и распределения ресурсов. В результате анализа взаимодействия роботов при формировании коалиции и выполнении плана были определены следующие типы умных контрактов, требуемые для реализации в РР: а) контракты для распределения заданий между участниками коалиции; б) контракты для выделения запрошенного количества ресурса; в) контракты для контроля за выполнением задания; г) контракты для коррекции плана действий коалиции. Предложенные типы контрактов позволяют осуществлять автоматический контроль выполнения плана действий, определенного при формировании коалиции, и динамически корректировать его в случае отклонений.

Первоначальное формирование коалиции предусматривает централизованно-децентрализованное планирование решения сложной задачи с последующим распределением ролей, задач, ресурсов в коалиции и одновременным построением агрегированного плана взаимодействия роботов. Для решения общей задачи роботы самостоятельно или с привлечением координирующего центра формируют коалицию и составляют план действий таким образом, чтобы совокупная компетенция роботов в коалиции позволила им гарантированно решить общую задачу, и при этом имелась возможность динамического изменения состава коалиции и плана действия с учетом параметров развивающейся ситуации, влияющих на решение задачи 3.

В процессе реализации плана по решению общей задачи, коалиция роботов может столкнуться с развитием ситуации, требующим оперативного принятия решений для сохранения первоначально согласованного плана действий и адаптивного децентрализованного планирования для учета развивающейся ситуации. В этом случае применяется социо-инспирированная самоорганизация,

областях. Для текущей ситуации концепты описывают физические параметры среды, локализацию всех роботов коалиции, положение и свойства объектов в области действия коалиции. Концепты онтологии для описания конструкции и функций робота предоставляют характеристики аппаратно-программных компонент робота (количество, типы, диапазоны измерений и текущие показания сенсоров, количество, типы, текущие положения моторов, состояние и текущий заряд аккумулятора, уровень запасов топлива (при наличии топливного бака), вычислительные мощности (частота процессора, объем оперативной памяти, хранилища данных, подключение к сетям передачи данных, сведения о характеристиках выбранных систем геопозиционирования) и программных компонент (установленные библиотеки, программные модули, платформы, управляющий код для аппаратного обеспечения, шаблоны выполнения действий), а также описание функций и возможных технологий, которые робот может выполнять, используя свое аппаратно-программное обеспечение. Концепты разработанной онтологии синхронизированы с онтологией, определенной стандартом 1872-2015 - IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation для обеспечения интероперабельности при расширении перечня предметных областей и состава участников коалиции 6.

Концепты онтологии, связанные с описанием задачи и требованиями к задаче, определяют типы задач, ресурсы, необходимые для их решения, требования к функциональному оснащению роботов, а также возможные способы разбиения задач, решаемых коалициями роботов, на подзадачи.

В процессе переговоров также учитывается онтологическое представление норм взаимодействия роботов внутри коалиции, описывающие базовые правила совместного решения задачи, среди которых можно выделить плотность расположения роботов в пространственной области решения задачи и логику замены участников коалиции при совпадении их характеристик. Плотность расположения участников коалиции является важной базовой нормой, поскольку от нее зависит насколько полно и эффективно будет решена общая задача. Например, в точном земледелии используются крупногабаритные роботы, что, с учетом фиксированных конечных размеров сельскохозяйственного поля, затрудняет совместное решение задачи и требует временной и пространственной синхронизации действий участников коалиции. В задачах ДЗЗ, наоборот, участники коалиции пренебрежимо малы в масштабах изучаемого объекта и для повышения точности требуется большее количество роботов, однако требуется учет и корректировка орбит для исключения столкновений, поскольку управляемость каждого робота ограничена.

Плотность расположения участников вычисляется по следующей формуле (1):

$$\frac{\sum_{i=1}^m \chi(r_j \in \pi l_{r_i}^2) r_i}{\pi l_{r_i}^2} < t, \quad (1)$$

где χ – функция-индикатор, отражающая принадлежность к множеству, $r_i, r_j \in R$ – роботы из множества роботов R , $i, j = \overline{1, m}$ – количество роботов; $l_{r_i}^2$ – радиус окружности с центром в позиции робота r_i .

Правила замены роботов определяют выбор конкретного исполнителя для задачи в случае совпадения их характеристик, требуемых для решения задачи (2). Данный тип норм поведения основан на анализе второстепенных параметров по отношению к задаче, влияющих, однако, на общую эффективность коалиции,

например, текущий запас энергии или количество отработанных роботом часов (что влияет на износ оборудования и возможные потери от простоя во время ремонта).

Для описания правила замены роботов используется логическое выражения следующего вида (2):

$$\forall i \forall j \left(\neg F(r_i, K) \wedge \neg F(r_j, K) \right) \wedge \left(\exists k: (f_k(r_i) > f_k(r_j)) \right) \rightarrow F(r_i, K), \quad (2)$$

где r_i, r_j – роботы, K – коалиция, $F(r_i, K)$ – функция принадлежности коалиции, $f_k(r_i)$ – значение ресурса k робота r_i .

Переговоры осуществляются посредством выполнения умных контрактов, обрабатывающих предложения роботов, их сохранение и распространение в распределенном реестре, реализуемом на базе платформы HyperLedger Fabric 7. Выбор платформы определяется ее архитектурой, которая позволяет легко адаптировать структуру коалиции к структуре платформы (см. Рис. 2).

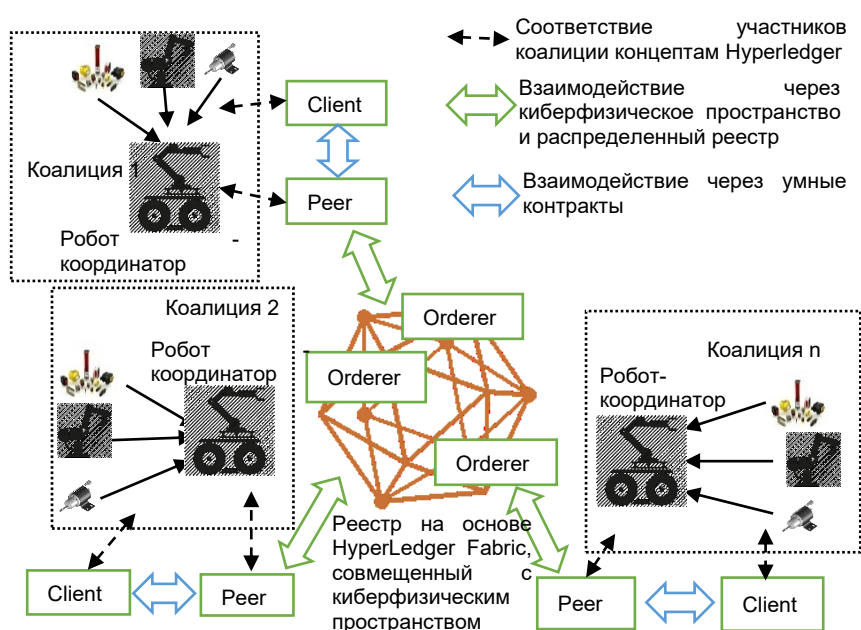


Рис. 2. Взаимодействие членов коалиции через HyperLedger Fabric с поддержкой киберфизического пространства

Основными элементами архитектуры являются узлы, разделенные на три уровня: «Client», «Peer», «Orderer». Уровень Client соответствует роботам, основной задачей которых является отправка данных с датчиков или выполнение простых операций. Например, в точном земледелии такие роботы могут быть составной частью комбайнов, разведчиками или транспортными роботами. На верхнем уровне находятся устройства, которые собирают информацию и выполняют умные контракты - «Peer». Примером уровня Peer является блок управления комбайном. Их основная задача - собирать информацию с нижнего уровня, обрабатывать ее с помощью интеллектуальных контрактов и передавать на верхний уровень, на котором

информация будет распространяться и храниться. Самый высокий уровень - «Orderer». Его задача - хранить информацию в соответствующей цепочке блоков, чтобы обеспечить координацию и распределение нового блока между другими Orderer и соответствующими Peeg'ами.

Умные контракты используются для инициирования нового раунда переговоров между роботами в случае выявления отклонения от плана выполнения задачи. Дополнительным преимуществом использования распределенного реестра является неизменяемость записей, позволяющая хранить шаги решения задачи для быстрого ознакомления новых участников коалиции с текущим статусом задачи и последующего анализа действий в случае критических нарушений плана.

Чтобы упростить использование протокола переговоров в распределенном реестре на основе HyperLedger Fabric, метод любого контракта должен вызываться с использованием базового умного контракта. Базовый контракт обеспечивает следующие функции взаимодействия между участниками коалиции:

1. Загрузка плана в формате XML. Включает в себя получение плана, его анализ, извлечение роботов, задач, связанных с роботами, порядок выполнения задачи и время выполнения каждой задачи, создание записей в распределенном реестре из извлеченных элементов. Каждая запись должна содержать одну задачу, которая связана с членом коалиции, ответственным за ее выполнение, и отметки времени начала и конца выполнения для каждой задачи.

2. Запуск выполнения задачи. Роботы в момент начала выполнения задачи, сохраняют момент времени начала выполнения в распределенном реестре, после чего контракт сверяет его с запланированным и запускает адаптивное децентрализованное планирование в случае сильного отклонения.

3. Завершение задания. Как и при запуске, в контракте предусмотрена функция получения уведомлений, проверки правильности исполнения и сохранения этого факта в распределенном реестре. В случае сильного отклонения от плана этот факт сохраняется в цепочке блоков, и другие члены коалиции получают уведомление об отклонении от плана через киберфизическое пространство.

Базовый смарт-контракт доступен через REST API, поэтому каждый робот может получить доступ к плану без прямого подключения к распределённому реестру, просто используя протокол HTTP.

Литература

1. Kardos C., Kovács A., Váncza J. Decomposition approach to optimal feature-based assembly planning // CIRP Ann. 2017. Т. 66. № 1. С. 417–420.
2. Smirnov A., Sheremetov L., Teslya N. Fuzzy Cooperative Games Usage in Smart Contracts for Dynamic Robot Coalition Formation: Approach and Use Case Description // ICEIS 2019 – Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2019. pp. 349–358.
3. Kalyaev A.I., Kalyaev I.A. Method of Multiagent Scheduling of Resources in Cloud Computing Environments // J. Comput. Syst. Sci. Int. 2016. – Т. 55. № 2. – С. 211–221.
4. Карпов В. Э. Социальные сообщества роботов / В.Э. Карпов, И.П. Карпова, А.А. Кулинич – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 352 с.
5. Каляев И.А. Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели

/ И.А. Каляев, С.Г. Капустян, А.Р.Гайдук // Управление большими системами: сборник трудов. 2010. – Т. 30–1. – С. 605–639.

6. IEEE Robotics and Automation Society. IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation. 2015. 60 с.
7. Kashevnik A., Teslya N. Blockchain-Oriented Coalition Formation by CPS Resources: Ontological Approach and Case Study // Electronics. 2018. – Т. 7. № 5. – С. 16.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.020
УДК 004.9

А.Я. Фридман¹, Б.А. Кулик²

¹ *Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН*

² *Санкт-Петербург. Институт проблем машиноведения РАН*

ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ЗНАКОВЫХ ФОРМАЛИЗМОВ*

Аннотация

Показана возможность применения парадигмы знаковых формализмов при решении задач планирования и координации в сетецентрических системах гражданского назначения. Предложен подход к решению этих задач с помощью числовых оценок степени ситуационной осведомленности лиц, принимающих решения по управлению составными частями сетецентрической системы.

Ключевые слова:

знаковый формализм, задача планирования и координации, сетецентрическая система, числовая оценка ситуационной осведомленности.

A.Ya. Fridman¹, B.A. Kulik²

¹ *Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS*

² *Saint Petersburg, Institute for Problems in Mechanical Engineering, RAS*

OPPORTUNITIES FOR MANAGING NETCENTRIC SYSTEMS BASED ON SYMBOLIC FORMALISMS

Abstract

Some opportunities to apply the paradigm of symbolic formalisms for solving planning and coordination problems in netcentric civil (commercial) systems is shown. An approach to solving these problems with the help of numerical assessments of the degree of situation awareness of persons making decisions on managing components of a netcentric system is proposed.

* Работа частично поддержана грантами РФФИ (проекты №№ 18-29-03022-мк, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а и 19-08-00079-а).

Keywords:

symbolic formalism, planning and coordination problem, netcentric system, numerical estimate of situation awareness intelligent.

Введение

В работе [1] для сетевых систем (СЦС) гражданского назначения предложен когнитивный подход к оперативному формированию зон ответственности (ЗО) различных узлов принятия решений (УПР) на основе анализа ситуационной осведомленности лиц, принимающих решения и находящихся в узлах СЦС. После формирования ЗО возникает проблема планирования и координации совместной (согласованной) деятельности узлов, входящих в одну ЗО. Эта задача в [1] не рассматривалась, подход к ее решению предложен ниже.

Для решения поставленной задачи каждый УПР в составе СЦС должен:

- сформировать целевую область (точку) в пространстве состояний «своей» ЗО;
- разработать план достижения целевого состояния из текущего состояния и зафиксировать количество интервалов квантования процесса функционирования ЗО (далее – шагов), необходимых для реализации плана;
- решать задачу координации действий подведомственных ему узлов и распределять между ними задания, выполняемые на каждом шаге;
- оперативно оценивать ход реализации плана и корректировать (регулировать) этот процесс при необходимости.

Первая из перечисленных задач далее не анализируется, поскольку ее целесообразно решать на метауровне, рассматривая каждую ЗО как узел мета-СЦС.

1. Планирование и координация действий узлов ЗО

В работе [2] были предложены процедуры прямого планирования и координации взаимодействий в пространстве состояний для коллектива динамических интеллектуальных систем (ДИС) (например, [3]) и для ситуационной концептуальной модели (СКМ) [4]. Планирование основано на понятии эффективной N -достижимости [3], выбор плана на каждом шаге вывода (логического конструирования плана) происходит таким образом, чтобы вновь появляющиеся на этом шаге факты не повторялись вдоль всей траектории планирования. Указанное свойство обеспечивает максимально возможную скорость приближения текущего состояния системы к целевому, с учетом имеющихся ограничений на траекторию.

Представленные выше процедуры непосредственно применимы и для узлов СЦС, входящих в состав одной ЗО, после формирования последней. Выбор между формализмами планирования и координации для ДИС и для СКМ должен производиться в каждом конкретном случае, исходя из внутренней структуры узлов СЦС. Если узлы описаны в рамках парадигмы многоагентных систем, лучше подходит формализм ДИС, для узлов с иерархической структурой предпочтительно описание в стиле ситуационного подхода.

2. Оперативное распределение заданий между узлами СЦС

В работе [5] продемонстрирована возможность применения знакового формализма в решении задачи динамического распределения ролей агентов в коалиции при решении общей задачи или реализации общего плана.

Распределение ролей названо динамическим, поскольку назначаемые роли заранее не заданы и формируются на основе предпочтений агентов, отражающихся в личностных смыслах этих агентов. Слово «роль» использовано для указания функции или действия, которые может реализовать агент и которые могут меняться от задачи к задаче. Базовым понятием в задаче формирования коалиций является **знак** $s = \langle n, p, t, a \rangle$, $n \in N$, где N – множество слов конечной длины в некотором алфавите, которое будем называть множеством имен; $p \in P$, где P – множество замкнутых атомарных формул языка исчисления предикатов первого порядка, которое называется **множеством свойств**; $t \in M$ – **множество значений**; $a \in A$, A – **множество личностных смыслов**.

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

Каждое действие, как во множестве значений, так и во множестве личностных смыслов, интерпретируется **правилом** [6] – упорядоченной тройкой множеств:

$$r = \langle Con, Add, Del \rangle,$$

где Con – условие правила; Add – множество фактов, добавляемых правилом r ; Del – множество фактов, удаляемых правилом r .

В основе целенаправленного поведения любого агента лежит план такого поведения. Если G – множество фактов, называемое целевым состоянием, Σ_0 – начальное состояние, то **планом поведения** интеллектуального агента называть последовательность состояний $\Sigma_0, \dots, \Sigma_n$, последовательность правил r_1, \dots, r_n и последовательность подстановок $\Theta_1, \dots, \Theta_n$ таких, что G выполнима в Σ_n . Длина плана в данном случае равна n . Таким образом, план $\Sigma_0, \dots, \Sigma_n$ реализуется последовательным выполнением действий, предписываемых правилом r_i ($i = 1, n$) с подстановкой Θ_n , которые переводят систему (агента) из состояния Σ_{i-1} в состояние Σ_i .

В качестве агента-координатора коалиции, который составляет план поведения коалиции, выбирается тот, у которого в структуре личностного смысла функция планирования имеет наивысшее предпочтение среди членов коалиции, а задание на выполнение того или иного действия передается тому агенту, у которого максимально значение функции самооценки его успешности при выполнении этого действия [5].

Приведенная структура представляется вполне пригодной и для решения рассматриваемой здесь задачи распределения заданий между узлами одной ЗО СЦС. Основное отличие нашей задачи от формирования коалиций [5] состоит в том, что на каждом шаге работы должна обеспечиваться полнота выполнения общей задачи данной ЗО, решаемой на текущем шаге, то есть некоторая обобщенная сумма заданий всех узлов ЗО должна покрывать (в смысле теории множеств) эту общую задачу ЗО.

Для снижения сложности задачи построения когнитивных агентов целесообразно вместо анализа личностного смысла использовать более

традиционные в теории управления критерии качества работы, которые настраивает координатор. Такой подход рассмотрен, например, в [7] для иерархических динамических систем, к которым относятся и СЦС.

Любую иерархию можно свести к двухуровневой системе с Координатором на верхнем уровне и набором локальных ЛПР (ЛЛПР) на нижнем уровне [8]. В сетцентрических системах количество уровней не меньше двух [9]. В [7] предложены методы координации такой системы с использованием градиентов (приращений) критериев качества работы ЛЛПР и Координатора. Предполагалось, что все ЛЛПР имеют равные ранги. В той же работе приведены формулы расчета степени ситуационной осведомленности (ССО) ЛЛПР. Эти зависимости представляется разумным использовать также для координации. Во-первых, можно масштабировать сигналы обратной связи от ЛЛПР к Координатору по их ССО, которая отображает степень доверия к решениям соответствующих ЛЛПР. Во-вторых, ССО Координатора равна минимальной ССО подведомственных ему ЛЛПР (узлов его ЗО), см. [7, 10]. Таким образом возможно вычислять ССО для СЦС с произвольной структурой.

3. Оперативное регулирование хода реализации плана

Поскольку переформирование ЗО может при необходимости происходить на каждом шаге процесса функционирования СЦС, для принятия решения о перевычислении ССО узлов и формировании новых ЗО следует осуществлять в рамках событийного подхода (например, [11]). Перевычисление ЗО производится при быстром изменении ССО какого-либо УПР. Новыми координаторами выбираются узлы СЦС, имеющие локальные максимумы ССО.

Литература

1. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивный подход к оценке ситуационной осведомленности в сетцентрических системах гражданского назначения. Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы V Всероссийской Пospelовской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020 (в печати).
2. Фридман А.Я. Координация и планирование управлений в локально организованных иерархических системах // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (15-20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. Т. 1. М.: ИСА РАН. С. 115-124.
3. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. М.: КРАСАНД, 2009.
4. Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом // Труды СПИИРАН, 2014. № 6(37). С. 424-453.
5. Осипов Г.С. Целенаправленное поведение коалиции когнитивных агентов. Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы IV Всероссийской Пospelовской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 81-85.
6. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. 2-е изд. М.: Физматлит, 2011.

7. Fridman A.Ya. SEMS-Based Control in Locally Organized Hierarchical Structures of Robots Collectives. In: A.E. Gorodetskiy, V.G. Kurbanov (Eds.) Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Series: Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 95, Chapter 3, pp. 31-50. 1st ed. Springer, 2017.
8. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973.
9. Иванюк В.А., Абдикеев Н.М., Пащенко Ф.Ф., Гринева Н.В. Сетецентрические методы управления // Стратегический менеджмент. 2017. № 1. С. 26-34.
10. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cognitive Engineering and Decision Making. 2015. vol. 9. No. 1. Pp. 101-111.
11. Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А. Гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе извлечения событий из потоков разнородных данных. Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 140-147.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.021
 УДК 303.732.4

Д.С. Черешкин¹, Г.В. Ройзензон^{1,2,3}, В.Б. Бритков^{1,2}

¹ Москва, ИСА ФИЦ ИУ РАН

² Долгопрудный, МФТИ

³ Москва, МЭИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКОВ*

Аннотация.

В работе предложена схема построения многомерного классификатора методов анализа рисков. Предложенный многомерный классификатор интеллектуальных методов анализа рисков может рассматриваться как удобный аналитический инструмент, т.к. позволяет выявлять «пробелы» в области разработки указанных методов. Подобный подход дает возможность для выбранных конкретных задач, с учетом свойств социально-экономических систем (уникальность, наличие сразу нескольких слабо формализуемых целей, существенная сложность для определения оптимальности, динамичность, многокритериальность, учет человеческого фактора и возможность интерпретации результата), а также способов измерения риска (инженерный, модельный, экспертный и социологический) обозначить перечень уже разработанных методов или методов, разработка которых и является перспективной проблемой.

Ключевые слова:

анализ рисков, социально-экономические системы, искусственный интеллект, классификатор.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-07-00522).

D.S. Chereskin¹, G.V. Royzenon^{1,2,3}, V.B. Britkov³

¹ Moscow, Institute for Systems Analysis, RAS

² Dolgoprudny, Moscow Institute of Physics and Technology

³ Moscow Power Engineering Institute

INTELLECTUAL RISK ANALYSIS METHODS

Abstract

The paper proposes a scheme for constructing a multidimensional classifier of risk analysis methods. The proposed multidimensional classifier of intellectual methods of risk analysis can be considered as a convenient analytical tool, because allows you to identify "gaps" in the development of these methods. Such an approach makes it possible for the selected specific tasks, taking into account the properties of socio-economic systems (uniqueness, the presence of several poorly formalized goals at once, material difficulty for determining optimality, dynamism, multi-criteria, taking into account the human factor and the possibility of interpreting the result), as well as measurement methods risk (engineering, model, expert and sociological) indicate a list of already developed methods or methods, the development of which is a promising problem.

Keywords:

risk analysis, socio-economic systems, artificial intelligence, classifier.

За последние более чем 100 лет предпринималось несколько попыток создания общей теории риска. Прежде всего, необходимо отметить пионерские работы А.А. Богданова по тектологии [1], в которых фактически заложены основы теории систем и кибернетики. Ценность работ А.А. Богданова по тектологии как раз и заключается в первой попытке объединить в рамках единой теории самые разные области человеческого знания (как естественно научного, так и гуманитарного). В современных условиях новые возможности для разработки теории риска связаны с применением методов искусственного интеллекта (далее ИИ) [2], что является важным развитием междисциплинарного тектологического подхода А.А. Богданова.

Представим основные определения для используемых терминов.

В общем случае под измерением риска понимают определение опасности от того или иного источника (вида деятельности) для индивидуума или группы [3, 6, 7].

Относительно определения научного направления ИИ дело обстоит несколько сложнее. Нужно признать, что какого-то одного устоявшегося и единодушно принятого научным сообществом определения к настоящему моменту не выработано. Разработано огромное количество различных определений ИИ, сравнение и анализ которых явно выходит за рамки представленной работы. По мнению авторов настоящей статьи, под ИИ понимается группа методов и подходов, которые ориентированы на решение слабоструктурированных задач.

Как и в случае определения научного направления ИИ, достаточно сложно сформулировать точное определение, что является социально-экономической системой (СЭС). Прежде всего, это связано с тем, что существует огромное количество определений понятия «системы». Поэтому конструктивным способом преодоления этой проблемы является попытка описать СЭС через некоторый набор свойств или признаков. Таким образом, если объект исследований

полностью удовлетворяет определенным значениям по указанным признакам он может рассматриваться как полноценная СЭС. Если удовлетворяет только частично, то можно говорить о том, что объект исследований является квази СЭС (или частично является СЭС). Соответственно, если по большинству признаков получены неудовлетворительные оценки, то объект исследований не может рассматриваться как полноценная СЭС.

Рассмотрим подробнее признаки, которые можно использовать для описания СЭС.

Первым признаком является *уникальность СЭС*. В этом смысле достаточно красноречивыми примерами являются неудачные попытки переноса разработанной системы здравоохранения для одного региона на другой регион, различные экологические проблемы, транспортная инфраструктура и ряд других.

Вторым важным признаком СЭС является наличие *сразу нескольких слабо формализуемых целей*. Хорошим примером в этом контексте является город. Основной задачей развития города является обеспечение комфортных условий для работы, проживания и досуга для всех жителей. Для обеспечения этой основной задачи необходимо сформулировать как раз несколько подцелей, которые можно рассматривать как слабо формализуемые (например, транспортная доступность, уровень медицинского обслуживания и т.п.).

Третьим признаком, характеризующим СЭС, является существенная сложность для определения *оптимальности* (или даже возможно ее отсутствие). Для многих СЭС просто невозможно «проиграть» сразу несколько различных сценариев ее функционирования. Примером могут служить различные крупные техногенные катастрофы (авария на Чернобыльской АЭС, Фукусима и др.). Как правило, после таких аварий основные ресурсы (организационные, финансовые, кадровые и т.п.) уходят на ликвидацию последствий, и возможности анализа сценариев, которые могли бы предотвратить катастрофическое развитие ситуации в ряде случаев весьма ограничены (тем более сложно говорить о возможности реализации альтернативных вариантов).

Четвертым неотъемлемым признаком СЭС является *динамичность*. В этом контексте основные проблемы связаны с трудностями построения точной математической модели СЭС, которая могла бы полноценно учитывать изменения ее состояния во времени.

Пятым важным признаком, характеризующим СЭС, является *многокритериальность*. Типичным примером может служить задача многокритериальной оценки кредитного риска [9] или оценка обеспечения норм безопасности на предприятии [6]. Для многокритериальных проблем особенно важно сделать акцент на задачах стратегического выбора.

Шестым признаком, который обязательно нужно принимать в расчет при описании СЭС это *наличие свободы воли* (или *учет человеческого фактора*). Тут уместно рассмотреть различные случаи транспортных аварий (ошибки пилотов, авиадиспетчеров, машинистов поездов и т.п.).

И, наконец, седьмым важным признаком, который характеризует СЭС, является *возможность интерпретации результата*. При решении задач анализа риска в СЭС, распознавания кризисных ситуаций и т.п. очень ценным является не только фиксация какого-то аномального состояния системы, но и выработка мер (сценариев), которые позволят предотвратить катастрофические последствия. Таким образом, можно говорить о том, какие свойства или характеристики СЭС

можно изменить и как, для того чтобы избежать нежелательных последствий или их минимизировать. Поэтому разработка различных инструментов, которые позволят осуществить содержательный анализ риска в СЭС и выработки различных интерпретируемых сценариев является весьма востребованным. Нужно также акцентировать внимание на то, что сценарные методы выбора стратегических решений в СЭС позволяют в ряде случаев учесть различного рода неопределенности [5].

Рассмотрим классификацию различных методов (в том числе и ИИ) с точки зрения измерения риска [7].

Первый подход хорошо известен как инженерный [7]. В рамках данного подхода основные усилия направлены на сбор статистических данных о поломках, авариях, связанных с утечкой вредных веществ в окружающую среду. Инженерный подход ориентирован на количественный расчет вероятности поломок, отказов и других нежелательных событий. Здесь можно упомянуть различные методы распознавания образов, метод опорных векторов, методы рандомизированного машинного обучения [14] и нейросетевой подход [15]. Перечисленные методы предназначены, прежде всего, для решения задачи классификации. Как уже было отмечено, важной характеристикой СЭС является ее уникальность. В этом контексте использование вероятностных подходов может быть сопряжено с определенными сложностями (фактически дефицит прецедентной информации). Для многих СЭС весьма существенным аспектом является возможность интерпретации результата, поэтому использование, например, нейросетевого подхода также не всегда позволяет получить приемлемое объяснение принятых решений.

Второй подход принято называть модельным. Данный подход предполагает моделирование процессов, которые могут спровоцировать различные нежелательные последствия (аварии и т.п.) [7]. В рамках данного подхода проблема состоит в том, что построение модели СЭС может потребовать достаточно много времени. К моменту завершения построения модели, сама СЭС может значительно трансформироваться, и процесс моделирования фактически придется начинать заново. Таким образом, модельный подход измерения риска тесно связан с таким свойством СЭС как динамичность. В рамках модельного подхода необходимо отметить работы по математической теории риска, мультимодельный подход [10] и ряд других. В современных условиях методы ИИ (в частности, многоагентные системы и коллективное поведение автоматов) активно применяются в моделировании, например, в проектировании при разработке «цифровых двойников», в робототехнике, при создании «умных предприятий», «умных городов» и др. Совместное использование методов ИИ и имитационного моделирования также тесно связано с таким свойством СЭС как оптимальность (например, компромисс между стоимостью разработки изделия, сроками разработки, функциональностью и надежностью).

Третий подход к измерению риска известен как экспертный [7]. Как уже было отмечено, при применении инженерного и модельного подходов достаточно часто возникают ситуации, когда наблюдается дефицит статистических данных (или есть сомнения в их достоверности). Кроме того, при построении моделей в ряде случаев затруднительно выявить различные зависимости (так называемые слабоструктурированные задачи [8]). В такой ситуации фактически единственным источником сведений являются эксперты. В рамках данного подхода сложности

состоят в субъективности суждений экспертов, а также в механизмах обработки как количественных, так и качественных экспертных оценок. Как уже было отмечено, важным свойством СЭС является многокритериальность. Соответственно использование различных многокритериальных подходов для экспертной оценки СЭС является важной областью приложения методов ИИ. Многокритериальные экспертные методы также можно подразделить с точки зрения измерений [8]. Еще одним важным аспектом использования экспертных методов для анализа риска в СЭС является учет важных свойств СЭС, а именно: человеческого фактора, получение оптимальных (предпочтительных) решений, а также возможность интерпретации полученного результата (решений).

Четвертый подход измерения риска, известен как социологический [7]. В рамках данного подхода предполагается измерить восприятие населением и его отдельными группами того или иного риска [12, 13]. Из методов ИИ, которые успешно применены в рамках социологического подхода измерения риска следует отметить, прежде всего, ДСМ-метод [16] (система управления факторами риска безопасности полётов, анализ и предотвращение забастовок на предприятиях и др.). ДСМ-метод предназначен для установления неизвестного свойства объекта, на основе анализа множества структур типа объект-свойство (индуктивный метод порождения гипотез). Социологический подход измерения риска позволяет проанализировать такие свойства СЭС как: учет человеческого фактора, наличие сразу нескольких слабо формализуемых целей и многокритериальность.

Таким образом, основные свойства СЭС, четыре способа измерения риска (инженерный, модельный, экспертный и социологический), а также перечень конкретных задач позволяют сформировать многомерный классификатор методов анализа риска.

Обозначим некоторые предварительные выводы.

В рамках инженерного подхода анализа риска получение каких-то новых фундаментальных результатов в ближайшее время, скорее всего, проблематично. Это связано с тем, что теория вероятностей к настоящему моменту очень хорошо развита, благодаря результатам полученным, отечественными научными школами (А. Н. Колмогоров и др.). Тем не менее, если будут получены новые результаты, которые сделают работу нейронных сетей более прозрачными и понятными тут также можно обозначить некоторую перспективу.

Для модельного подхода новые результаты могут быть связаны с повсеместным внедрением новых цифровых технологий (четвертая промышленная революция [11]), что сделает крайне востребованным использование многоагентного подхода (коллективного поведения роботов, умных предприятий, дорог, городов, беспилотного транспорта и т.п.), а также различных интеллектуальных датчиков (мягкие измерения и вычисления), которым будут делегированы права самостоятельного принятия решений.

В рамках экспертного подхода для задач анализа риска упор должен быть сделан на развитие основных способов получения и представления знаний (онтологии (семантические сети), фреймы, продукции, а также методы логического вывода)). Прежде всего, перспективными являются подходы, ориентированные на работу с неколичественной (качественной) информацией (методы ВАР [8], нечеткая логика и мягкие вычисления, взаимодействие с компьютером на естественном языке и т.п.).

Но наиболее существенные новые результаты могут быть получены в рамках социологического подхода анализа риска. Прежде всего, нужно отметить работы нобелевских лауреатов по экономике Даниеля Канемана (2002) [12] и Ричарда Талера (2017) [13], связанные с исследованиями в области поведенческой экономики.

Литература

1. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука. – М.: URSS, 2019. – 680 с.
2. Осипов Г. С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
3. Черешкин Д. С., Ройзензон Г. В., Бритков В. Б. Применение методов искусственного интеллекта для анализа риска в социально-экономических системах // Информационное общество. – 2020. – № 1.
4. Ройзензон Г. В. Синергетический эффект в принятии решений // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Ю. С. Попкова, В. Н. Садовского, В. И. Тищенко. – № 36. 2011-2012. М.: УРСС, 2012. – С. 248-272.
5. Цыгичко В. Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. – 3-е изд. – М.: URSS, 2017. – 240 с.
6. Цыгичко В. Н., Черешкин Д. С., Смолян Г. Л. Безопасность критических инфраструктур. – М.: URSS, 2019. – 200 с.
7. Ларичев О. И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности // Вестник АН СССР. – 1987. – Т. 57, № 11. – С. 38-45.
8. Ларичев О. И. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 2006. – 181 с.
9. Метод многокритериальной классификации ЦИКЛ и его применение для анализа кредитного риска / А. А. Асанов, О. И. Ларичев, Г. В. Ройзензон и др. // Экономика и математические методы. – 2001. – Т. 37, № 2. – С. 14-21.
10. Геловани В. А., Бритков В. Б., Дубовский С. В. СССР и Россия в глобальной системе (1985-2030): Результаты глобального моделирования. – М.: URSS, 2018. – 320 с.
11. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, Е. Д. Вязилов. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.
12. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо, 2016. – 208 с.
13. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: правила и предубеждения. – Харьков: Гуманитарный центр, 2005. – 632 с.
14. Талер Р. Новая поведенческая экономика. Почему люди нарушают правила традиционной экономики. – М.: Эксмо, 2017. – 368 с.
15. Попков Ю. С. Машинное обучение и рандомизированное машинное обучение: сходство и различие // Восьмая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019). Труды конференции. – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. – С. 10–25.
16. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. – М.: «Вильямс», 2019. – 1104 с.
17. Финн В. К. Интеллектуальные системы и общество: Сборник статей. – М.: КомКнига, 2006. – 352 с.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.022
УДК 004.8, 004.9

М.Г. Шишаев, П.А. Ломов

*Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ
КНЦ РАН*

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СЛАБО-КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИПРЕДМЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Аннотация

В работе рассмотрена концепция применения слабо-контролируемого обучения для реализации компонентов прикладной логики мультимедийных информационных систем. Охарактеризована специфика мультимедийных информационных систем, обозначены ключевые проблемы гетерогенности и изменчивости компонентов системы и внешней среды. Дана краткая характеристика подхода к машинному обучению на базе неточных и неполных данных. Рассмотрен «модельный ландшафт» мультимедийной информационной системы, использующей слабо-контролируемое обучение. Обозначены достоинства и перспективы использования предложенного подхода.

Ключевые слова:

анализ текстов на естественном языке, извлечение фактов из текстов, слабо-контролируемое обучение.

M.G. Shishaev, P.A. Lomov

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

CONCEPT OF WEAK-SUPERVISION APPROACH USE IN MULTI-SUBJECT- DOMAIN INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT

Abstract

The paper considers the concept of using a weak-supervision approach for the implementation of the components of the business logic of multi-subject-domain information systems. The specificity of multi-subject-domain information systems is characterized, key problems of heterogeneity and variability of system components and the external environment are identified. A brief description of the approach to machine learning based on inaccurate and incomplete data is given. The "model landscape" of a multi-subject-domain information system using weak-supervision is considered. The advantages and prospects of using the proposed approach are indicated.

Keywords:

analysis of natural language texts, extracting facts from texts, weak supervision.

Мультимедийные информационные системы (МПИС) являются специфическим классом систем, ориентированным на реализацию задач информационной поддержки развития регионов. Информационная поддержка регионального развития характеризуется следующими особенностями:

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-07-00754 А).

- Разнообразие и сложность прикладных задач, требующих адекватной информационной поддержки.
- Разнообразие категорий пользователей и используемых ими представлений о предметной области.
- Более низкие требования к оперативности и точности по сравнению с промышленными системами (действия, в конечном итоге, контролируются человеком).

Например, проблематика развития региональной системы образования затрагивает интересы таких категорий пользователей, как менеджмент и иные работники образовательных организаций, представители работодателей, социальные работники и другие. Представители каждой категории имеют отличное от других представление о предметной области.

Таким образом, в контексте регионального управления возникает множество разнородных по существу задач информационной поддержки, имеющих, вместе с тем, территориальную привязку и, как следствие, взаимосвязанных по данным.

Информационная система, обеспечивающая комплексное решение подобных задач, характеризуется разнородностью пользователей, информационных ресурсов и функциональных возможностей, а также изменчивостью компонентов (информационных баз, функциональных модулей, рабочих мест пользователей) и должна удовлетворять следующим требованиям:

- Использовать в качестве информационной основы формализованные (машинно-обрабатываемые) знания.
- Обеспечивать аккумуляцию и интеграцию данных для будущего использования.
- Быть адаптируемой к изменениям представлений о предметной области и спектра прикладных задач, являющихся предметом информационной поддержки.

Информационная база, представленная в виде формализованных знаний об охватываемых системой предметных областях, является ключевым компонентом системы. Поддержание ее в актуальном состоянии в условиях обозначенной выше динамичности является, таким образом, наиболее важной задачей обеспечения работоспособности МПИС. Одним из способов решения данной проблемы является автоматическое извлечение знаний из доступных внешних источников, в частности – текстов на естественном языке.

В свою очередь, эффективным подходом к анализу естественно-языковых текстов является использование моделей и методов машинного обучения [1, 2]. В случае применения наиболее универсальных методов обучения с учителем, ключевой задачей при этом является формирование качественных наборов обучающих данных (обучающих выборок). Для ее решения в работах [3, 4] предложен специфический подход – слабо-контролируемое обучение (weak supervision), позволяющий использовать для формирования обучающих выборок неточные, противоречивые и неполные данные. В общем виде, процедура слабо-контролируемого обучения включает следующие основные этапы:

1. Формирование маркировочных функций (МФ).
2. Разметка с их помощью исходного набора данных

3. Анализ согласованности полученной множественной разметки с получением в результате генеративной модели, позволяющей оценивать вероятность присвоения правильной метки маркировочной функцией.
4. Формирование вероятностного обучающего набора данных.
5. Обучение дискриминативной модели на полученной обучающей выборке.

Данная процедура реализуется программным инструментом Snorkel, разработанным в рамках соответствующего проекта исследователями из Стэнфордского университета [5]. В целом подход обладает существенными достоинствами:

- Возможность простой инкапсуляции в результирующую модель знаний нескольких экспертов.
- Программирование МФ значительно более простая процедура, нежели ручное маркирование.
- Использование МФ позволяет эффективно обеспечивать разметку в условиях больших объемов данных (когда ручная маркировка – медленная и дорогая процедура).
- В рамках подхода обеспечивается автоматическая (неявная) оценка качества той или иной маркировочной функции (в случае ручной маркировки, качество работы эксперта сложно оценить).
- Подход характеризуется гибкостью по отношению к исходным данным (изменение данных не влечет за собой дополнительной ручной работы, связанной с разметкой новых учебных наборов – достаточно обработать новые данные с помощью имеющихся маркировочных функций).
- С помощью МФ могут быть закодированы произвольные сигналы: эвристики, зашумленные обучающие выборки и др.
- Будучи фрагментами программного кода, маркировочные функции обладают соответствующими достоинствами - модульностью, возможностью повторного использования и др.

Таким образом, слабо-контролируемое обучение (СКО) является весьма перспективным подходом для решения ключевых проблем построения МПИС, связанных с гетерогенностью и изменчивостью структуры и внешней среды существования системы. В широком смысле, модели машинного обучения (ML-модели), в частности – искусственные нейронные сети, могут рассматриваться как способ реализации любых функциональных компонентов системы, при условии наличия достаточного объема данных для их обучения. Важным преимуществом СКО перед другими методами машинного обучения в этом контексте является возможность неявного моделирования предметной области через задание (повторно используемых) маркировочных функций, определяющих значимые для решения той или иной задачи характеристики предметной области.

В то же время, формирование множества маркировочных функций, являющихся фрагментами программного кода и назначающими метки исходным данным, является ключевой проблемой в рамках данного подхода, поскольку, с одной стороны, данный процесс довольно трудоемкий (с учетом необходимости формирования множественной исходной разметки больших объемов данных) и, в

целом, эвристический, а с другой – остальные шаги СКО в программной среде Snorkel выполняются автоматически. Для упрощения процесса формирования маркировочных функций, предлагается использование знаний, формализованных в онтологии предметной области. С этой целью в архитектуру МПИС, использующей слабо-контролируемое обучение, вводится дополнительный компонент, реализующий мета-модель решаемой задачи в виде набора правил генерации маркировочных функций, сформулированных в терминах используемой мульти- предметной онтологии.

Применение СКО в рамках МПИС существенно изменяет «модельный ландшафт» системы (рис.1). В совокупности, дискриминативная и генеративная ML-модели, множество маркировочных функций и формируемые с их помощью обучающие выборки характеризуют (с разной детализацией, в разной нотации и с разной целевой направленностью) решаемую задачу, то есть являются различными представлениями модели задачи. При этом обеспечивается возможность разделить в модельном ландшафте перспективы предметной области и задачи, и отказаться от априорного моделирования всех возможных задач (например, в виде алгоритмов и программных модулей для их решения) в пользу формирования их моделей по необходимости (on-demand) на основе формализованных знаний о предметной области, зафиксированных в информационной базе МПИС.

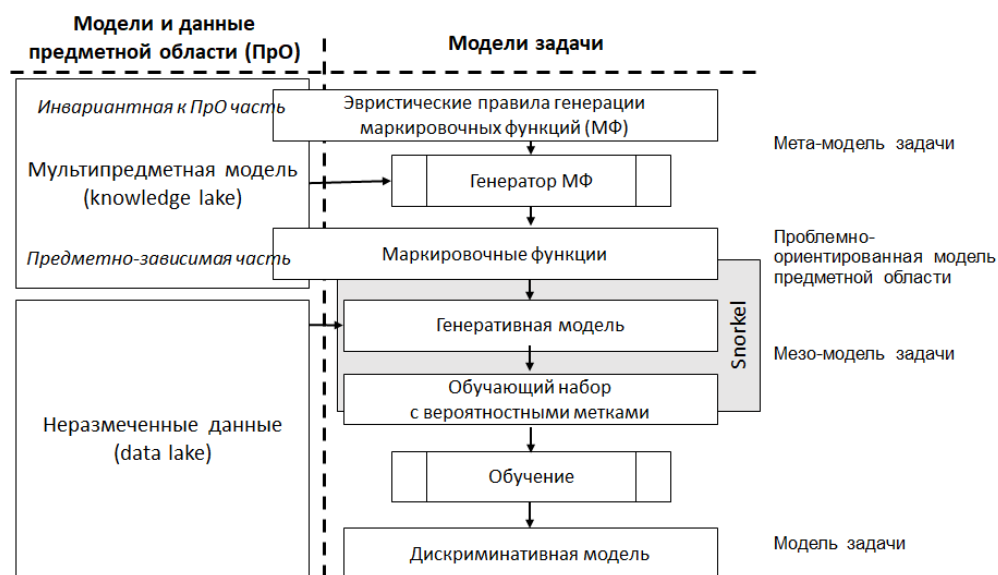


Рис. 1. «Модельный ландшафт» МПИС, использующей слабо-контролируемое обучение

Предложенная концепция применения методов слабо-контролируемого обучения при построении мультипредметных ИС, кроме решения проблем гетерогенности и изменчивости, характерных для МПИС, обеспечивает достижение компромисса между «статистическим» и «научно-познавательным» подходами к реализации и использованию искусственного интеллекта в

прикладных системах [6]. Этот компромисс обеспечивается маркировочными функциями и предложенным в данной работе их более общим представлением, которые являются связующим звеном между моделью предметной области, обладающей богатыми объяснительными свойствами, и ML-моделью, эффективно симулирующей причинно-следственные связи в рамках моделируемых объектов и процессов, но не дающей представления об их внутренней структуре и природе.

Литература

1. Малоземова М.Л., Ломов П.А. Технология пополнения тезауруса на основе применения дистрибутивного подхода к анализу естественно-языковых текстов // Труды Кольского научного центра. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН. – 9/2019 (10), Выпуск 10. – С.84-90
2. Dikovitsky V. V., Shishaev M. G. Automated Extraction of Deontological Statements Through a Multilevel Analysis of Legal Acts //Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. – Springer, Cham, 2018. – С. 102-110
3. Weak Supervision: A New Programming Paradigm for Machine Learning/ Alex Ratner, and other members of Hazy Lab. March 10, 2019. <http://ai.stanford.edu/blog/weak-supervision/>
4. Ratner, Alexander et al. (2016). Data Programming: Creating Large Training Sets, Quickly. Advances in neural information processing systems.
5. Programmatically Building and Managing Training Data <https://www.snorkel.org/>
6. Yarden Katz. Noam Chomsky on Where Artificial Intelligence Went Wrong. An extended conversation with the legendary linguist. November 1, 2012. <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2012/11/noam-chomsky-on-where-artificial-intelligence-went-wrong/261637/>

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.023

УДК 51-7

Б.С. Дарховский, Ю.А. Дубнов, А.Ю. Попков

Москва, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН

БЕЗМОДЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА БАЗЕ ТЕОРИИ ЭПСИЛОН-СЛОЖНОСТИ*

Аннотация

В работе рассматривается новый подход к проблеме классификации многомерных временных рядов, не требующий использования их моделей. Подход базируется на оригинальной теории эpsilon-сложности, которая позволяет почти любое отображение, удовлетворяющее условию Гёльдера, эффективно характеризовать парой действительных чисел, называемых коэффициентами сложности. Таким образом появляется возможность формирования признакового пространства, и дальнейшей постановки и решения задачи классификации в этом пространстве. Рассматривается пример применения предлагаемого подхода для задачи классификации сигналов ЭЭГ с использованием реальных данных.

Ключевые слова

эpsilon-сложность, классификация, многомерные временные ряды, ээг, безмодельный подход

B.S. Darkhovsky, Y.A. Dubnov, A.Y. Popkov

Moscow, FRC Computer Science and Control, RAS

MODEL-FREE CLASSIFICATION OF MULTIVARIATE TIME-SERIES BASED ON EPSILON-COMPLEXITY THEORY

Abstract

This work is devoted to a new model-free approach to a problem of binary classification of multivariate time-series. The approach is based on the original theory of epsilon-complexity which allows almost every mapping that satisfies Hoelder condition, be characterized by a pair of real numbers – complexity coefficients. Thus we can form a feature space in which a classification problem can be formulated and solved. We provide an example of classification of real EEG signals.

Keywords:

epsilon-complexity, classification, time-series, eeg, model-free.

Успех в решении задачи классификации многомерных данных самым существенным образом зависит от того, насколько удачно сформировано пространство признаков. На наш взгляд, в настоящее время именно эта проблема выдвигается на первый план в области классификации [1]. Формирование пространства признаков

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 17-29-02115, 20-07-00221).

сегодня основывается, как правило, на априорной информации о механизмах генерации данных.

Однако, далеко не всегда априорная информация о механизмах генерации данных доступна. Типичным примером здесь является электроэнцефалографический (ЭЭГ) сигнал, который, по мнению большинства специалистов, относится к числу наиболее сложных для исследования физических процессов, и при этом общепринятой модели такого процесса нет [2].

Аналогична в этом смысле ситуация и в приложениях к финансовым рядам, некоторым биологическим проблемам и т.д., где также нет твердо установленных моделей наблюдаемых процессов. Это обстоятельство существенно осложняет построение пространства признаков для решения задач классификации.

Развиваемая нами в последние годы теория ϵ -сложности непрерывных конечномерных отображений позволяет дать новый подход к проблеме [3]. Эта теория полностью согласуется в идейном плане с общим подходом А.Н. Колмогорова к определению понятия «сложность объекта» [4].

Неформально говоря, ϵ -сложность индивидуального непрерывного отображения, определенного на компакте, измеряется логарифмом числа его отсчетов на равномерной решетке, которые требуются для восстановления отображения фиксированным набором методов аппроксимации с относительной погрешностью не более.

Иными словами, ϵ -сложность можно назвать *кратчайшим описанием* (с точностью до) отображения по его значениям на равномерной решетке при помощи заданного семейства методов аппроксимации. Результаты теории ϵ -сложности обобщаются на случай, когда непрерывное отображение задано своими отсчетами на некоторой равномерной решетке, что характерно для подавляющего большинства приложений.

Можно показать, что ϵ -сложность «почти любого» отображения, удовлетворяющего условию Гёльдера, эффективно характеризуется парой действительных чисел. Мы называем эти числа *коэффициентами ϵ -сложности*. Коэффициенты сложности *никак не связаны с механизмом генерации данных*, и именно это обстоятельство позволяет предложить *безмодельные технологии классификации*.

Предлагаемый метод применялся для распознавания разных ментальных состояний мозга и разных паттернов активности мозга при совершении когнитивных актов в рамках нескольких экспериментов с участием реальных испытуемых [5]. В процессе экспериментов реальные данные ЭЭГ очищались от артефактов и приводились к единому масштабу. После этого вычислялись коэффициенты сложности для исходных кривых, а также для их разностей вплоть до четвертого порядка. Полученное таким образом признаковое пространство имело размерность от двух до десяти. Далее проводилась бинарная классификация методами SVM и Random Forest с использованием перекрестной проверки по 10 блокам (10-fold cross-validation). Результаты экспериментов показали эффективность предлагаемой технологии, обеспечивающей точность классификации по метрике accuracy более 85%.

Литература

1. Domingos P. A few useful things to know about machine learning // Communications of the ACM, 2012, 55(10), pp. 78–87. <https://doi.org/10.1145/2347736.2347755>.
2. Каплан А.Я. Нестационарность ЭЭГ: Методологический и экспериментальный анализ // Успехи Физиологических Наук, 1998, Т. 29, № 3, С. 35-55.
3. Дарховский Б.С., Пирятинская А. Новый подход к проблеме сегментации временных рядов произвольной природы // Труды МИАН, 2014, Т. 287, №1, С. 61-74.
4. Колмогоров А.Н. Комбинаторные основания теории информации и исчисления вероятностей // Успехи математических наук, 1983, Т. 38, № 4, С. 27-36.
5. Piryatinska A., Darkhovsky B., Kaplan A. Binary classification of multichannel-EEG records based on the -complexity of continuous vector functions // Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2017, Vol. 152, pp. 131-139, <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.09.001>.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.024

УДК 004.9

И.И. Курочкин¹, С.М. Дурсунов²

¹ Москва, ИППИ РАН

² Баку, ИИТ НАНА

ЗОНТИЧНЫЙ ПРОЕКТ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ E-GOVERNANCE*

Аннотация

В работе рассматриваются грид-системы из персональных компьютеров на платформе VOINC. Обсуждаются различные способы увеличения эффективности вычислений на грид-системах. Рассматривается зонтичный проект распределенных вычислений, как удобный инструмент проведения различных вычислительных экспериментов. Описываются преимущества зонтичного проекта распределенных вычислений и меры по улучшению функционирования зонтичного проекта. Перечисляются тестовые эксперименты, проведенные на проекте E-governance.

Ключевые слова:

грид-системы, умный город, e-governance, big data.

I.I. Kurochkin¹, S.M. Dursunov²

¹ Moscow, Institute for Information Transmission Problems, RAS

² Baku, Institute of Information Technology, ANAS

UMBRELLA DISTRIBUTED COMPUTING PROJECT E-GOVERNANCE

* Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ грант №18-57-06003.

Abstract

The paper deals with desktop grid systems based on the BOINC platform. Various ways of increasing the efficiency of computations on grid systems are discussed. The umbrella distributed computing project is considered as a convenient tool for conducting various computational experiments. The advantages of the umbrella project of distributed computing and the measures for improving the functioning of the umbrella project are described. The test experiments conducted on the E-governance project are listed.

Keywords:

grid systems, smart city, e-governance, big data.

Для решения сложных вычислительных задач часто используют многопроцессорные вычислительные системы (МВС). Класс МВС достаточно широк и к нему можно отнести достаточно много типов вычислительных систем, в том числе системы с сильной связью между вычислителями (SMP-системы) и системы со слабой связью: вычислительные кластеры и системы с архитектурой MPP. Использование высокопроизводительных вычислений (high performance computing, HPC) позволяет быстро решать сложные вычислительные задачи, но сопряжено с высокими финансовыми затратами на содержание больших МВС. При отсутствии возможности использования HPC для решения ряда задач можно использовать другой подход (high throuput computing, HTC) и распределенные вычислительные системы.

Существует много платформ для организации распределенных систем: HTCCondor, XtremWeb, Globus toolkit, Oracle Grid Engine, но наиболее распространенной является BOINC[1, 2]. С помощью платформы BOINC[2] за последние 20 лет были запущены более 100 публичных грид-систем из персональных компьютеров или проектов добровольных распределенных вычислений (ДРВ). Суммарная вычислительная мощность проектов на платформе BOINC измеряется сотнями PetaFLOPS, что больше, чем мощность суперкомпьютера из первой десятки рейтинга top500. В проекте добровольных распределенных вычислений, как правило, решается одна сложная расчетная задача. Вычислительный эксперимент в проекте ДРВ может продолжаться в течение нескольких месяцев или даже года. На протяжении этого периода, вычислительные узлы грид-системы используют одно вычислительное приложение с различными входными параметрами. Такой тип разделения большой вычислительной задачи на независимые подзадачи называют

Для увеличения скорости расчета на грид-системе используют 2 подхода: экстенсивный и интенсивный. Экстенсивный подход заключается в увеличении количества вычислительных узлов. Для проектов ДРВ это означает привлечение вычислительных ресурсов новых добровольцев и удержание интереса привлеченных добровольцев. Для закрытых проектов (enterprise desktop grid) это также означает увеличение количества вычислительных узлов и/или модернизация существующих. Интенсивный подход заключается в более эффективном использовании существующих вычислительных мощностей грид-системы. К этому подходу можно отнести настройку систем выдачи заданий, параметров репликации, системы обеспечения целостности данных, системы проверки результатов, и другие способы тонкой настройки параметров грид-системы.

Одной из причин потери эффективности грид-системы является недостаточное количество подзадач для расчета. Такая ситуация может возникнуть при завершении эксперимента, когда количество подзадач для расчета меньше, чем количество вычислительных узлов. Часто при завершении вычислительного эксперимента грид-система простаивает. А в случае проекта ДРВ вычислительная способность грид-системы может существенно уменьшиться из-за оттока добровольцев из проекта. Для исключения такой ситуации можно запускать следующий вычислительный эксперимент до завершения предыдущего. Но это накладывает дополнительные обязанности на команду проекта ДРВ и не всегда новый эксперимент спланирован и подготовлен до завершения предыдущего. Выходом из такой ситуации может быть организация зонтичного проекта распределенных вычислений. Под зонтичным проектом распределенных вычислений понимается проект, в котором асинхронно могут быть запущены несколько различных вычислительных приложений, не связанных общей тематикой и, возможно, разработанные различными научными коллективами. Использование зонтичных проектов для повышения эффективности грид-систем и снижением нагрузки на разработчиков вычислительных приложений является актуальным направлением в развитии публичных грид-систем из персональных компьютеров. К примеру, проект ДРВ WCG [3] является одним из популярных международных проектов на платформе BOINC и поддерживается компанией IBM. Создатель платформы BOINC Дэвид Андерсон продвигает подход координированных добровольных вычислений, который заключается в подключении добровольца и его ресурсов не к конкретному проекту ДРВ, а к зонтичному проекту Science United [4]. Управление вычислениями (к каким проектам ДРВ присоединиться) при этом осуществляется не добровольцем, а командой зонтичного проекта.

Несмотря на усложнение настройки параметров грид-системы, зонтичный проект обладает рядом преимуществ для разработчиков вычислительных приложений:

- Возможность асинхронного запуска нескольких вычислительных приложений;
- Возможность проведения небольших по вычислительной сложности экспериментов длительностью несколько недель;
- Отсутствие необходимости развивать и постоянно поддерживать проект ДРВ;
- Отсутствие финансовых затрат на покупку и обеспечение вычислительных мощностей;
- Использование существующей грид-системы с достаточной вычислительной мощностью;
- Совместное использование распределенной вычислительной системы;
- Простота подключения, в случае необходимости, своих вычислительных ресурсов.

На примере проекта Optima@home была отработана технология разворачивания нового зонтичного проекта [5]. Были определены меры и предложены способы модификации проекта на платформе BOINC для успешного функционирования зонтичного проекта:

- Увеличение отказоустойчивости серверной части;

- Введение системы обеспечения целостности данных для цепочки сервер-клиент-сервер;
- Настройка параметров репликации подзадач;
- Модификация системы проверки результатов;
- Введение модифицированной системы начисления баллов для зонтичного проекта ДРВ.

На вычислительной инфраструктуре ИИТ НАНА (Азербайджан) развернута и настроена грид-система из разнородных вычислительных узлов (enterprise desktop grid) на платформе BOINC. Данный зонтичный проект распределенных вычислений E-governance создан для решения задач конечномерной оптимизации в приложении к:

- Умный город (smart city);
- Электронное управление (e-governance);
- Повышения эффективности методов электронного управления с помощью анализа больших объемов информации (Big data analytic).

В качестве тестирования зонтичного проекта были проведены вычислительные эксперименты по отработке использования универсальных решателей (solvers), в том числе SCIP и IPOPT, при решении эталонной задачи коммивояжера из коллекции TSPLIB. Были одновременно проведены эксперименты по моделированию функционирования телекоммуникационных сетей [6] с различными множествами тестовых сетей.

Использование зонтичного проекта позволяет проводить асинхронно длительные и короткие вычислительные эксперименты. Вычислительная мощность грид-системы может быть достаточно просто увеличена временным привлечением новых ресурсов. Проведенные эксперименты показали эффективность работы грид-системы при одновременном проведении нескольких вычислительных экспериментов.

Литература

1. Anderson D.P. BOINC: A platform for volunteer computing // Journal of Grid Computing. – 2019. – pp. 1-24.
2. The server of statistics of voluntary distributed computing projects on the BOINC platform. <http://boincstats.com>. (Дата доступа: 01.04.2020).
3. Site of World Community Grid project <http://www.worldcommunitygrid.org>. (Дата доступа: 18.02.2020)
4. Anderson, D.P. "Coordinated Volunteer Computing." University of California, Berkeley, 2018.
5. Kurochkin I.I. The umbrella project of volunteer distributed computing Optima@home // In: E. Ivashko, A. Rumyantsev (eds.): Proceedings of the Third International Conference BOINC:FAST 2017, ISSN 1613-0073, Petrozavodsk, Russia, August 28 - September 01, 2017, pp. 35-42.
6. Курочкин И.И., Гринберг Я.Р., Прун А.И. Решение задачи нахождения узких мест в телекоммуникационных сетях с помощью грид-систем из персональных компьютеров // В сборнике: Материалы XXI Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2019). – Москва, МАИ, с. 90-92.

А.В. Назин

Москва, ИГУ РАН

ПОИСК СЕДЛОВОЙ ТОЧКИ ВЫПУКЛО-ВОГНУТОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИГРЫ АДАПТИВНЫМ МЕТОДОМ ЗЕРКАЛЬНОГО СПУСКА*

Аннотация

Рассматривается стохастическая игровая задача 2-х лиц с нулевой суммой, приводящая к поиску седловой точки функции игры на основе градиентного подхода. Исследуются алгоритмы зеркального спуска, как адаптивные, так и не адаптивные. Доказываются основные результаты. Обсуждается иллюстративный пример.

Ключевые слова:

стохастическая игровая задача, поиск седловой точки, градиентный подход, метод зеркального спуска, рекуррентные адаптивные алгоритмы.

A.V. Nazin

Moscow, Institute of Control Sciences, RAS

SEARCH FOR A SADDLE POINT OF A CONVEX-CONCAVE STOCHASTIC GAME BY THE ADAPTIVE METHOD OF MIRROR DESCENT

Abstract

A stochastic game problem of 2 persons with a zero sum is considered, leading to the search for a saddle point of the game function based on the gradient approach. We study mirror descent algorithms, both adaptive and non-adaptive. The main results are proved. An illustrative example is discussed.

Keywords:

stochastic game problem; saddle point search; gradient approach; mirror descent method; recursive adaptive algorithms.

Игровая задача 2-х лиц с нулевой суммой, как известно, приводит к поиску седловой точки выпукло-вогнутой функции [1, 2]. Она возникает в различных задачах оптимизации и управления, как в теоретическом, так и практическом аспектах [2, 3]. Будем далее говорить об итеративных методах поиска седловой точки при наличии оракула 1-го порядка, то есть использовании стохастических субградиентов функции игры $q(x, y)$, где $x \in X$ и $y \in Y$ – управляющие переменные 1-го и 2-го игроков из выпуклых компактов $X \subset R^n$, $Y \subset R^m$.

Тогда \exists седловая точка $(x^*, y^*) \in X \times Y$, т. е.
$$q(x^*, y) \leq q(x^*, y^*) \leq q(x, y^*) \quad \forall (x, y) \in X \times Y. \quad (1)$$

Введем ошибку аппроксимации для точки (x^*, y^*) точкой-кандидатом $(\hat{x}, \hat{y}) \in X \times Y$:

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант 18-08-00140.

$$\Delta(\hat{x}, \hat{y}) = \max_{y \in Y} q(\hat{x}, y) - \min_{x \in X} q(x, \hat{y}) \quad (2)$$

Очевидно, она неотрицательна в силу (1) и обращается в ноль при $(\hat{x}, \hat{y}) = (x^*, y^*)$. Основным результатом описанных далее алгоритмов зеркального спуска (ЗС) является следующее неравенство: при каждой итерации $t \geq 1$ выполняется

$$E \Delta(\hat{x}_t, \hat{y}_t) \leq C \frac{\sqrt{t+1}}{t}, \quad (3)$$

где E – математическое ожидание, постоянная C выписывается явно как функция параметров решаемой задачи, t – число итераций, приводящих к оценке (\hat{x}_t, \hat{y}_t) седловой точки.

Алгоритм ЗС (неадаптивный) записывается следующим образом.

1. Инициализация: при $k=0$ задаются параметры алгоритма и начальные значения двойственных $\zeta_0 = 0, \eta_0 = 0$ и прямых x_0, y_0 переменных.

2. Итерации: реализуются рекуррентно при $k = 1, 2, \dots, t$ переменные

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \zeta_k \\ \eta_k \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \zeta_{k-1} \\ \eta_{k-1} \end{bmatrix} + \gamma_k \begin{bmatrix} q_x(x_{k-1}, y_{k-1}) \\ -q_y(x_{k-1}, y_{k-1}) \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} &= - \begin{bmatrix} \text{grad } W_{\beta_k}(\zeta_k) \\ \text{grad } U_{\delta_k}(\eta_k) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (4)$$

используя стохастические субградиенты $q_x(\cdot, \cdot), q_y(\cdot, \cdot)$.

3. Дополнительное усреднение: получить окончательные оценки на итерации $t \geq 1$, а именно

$$\hat{x}_t = \frac{1}{\sum_{k=1}^t \gamma_k} \sum_{k=1}^t \gamma_k x_{k-1}, \quad \hat{y}_t = \frac{1}{\sum_{k=1}^t \gamma_k} \sum_{k=1}^t \gamma_k y_{k-1}. \quad (5)$$

Здесь $W_{\beta}(\cdot)$ и $U_{\delta}(\cdot)$ – выпуклые гладкие функции с липшицевыми градиентами и положительными параметрами β и δ (подробнее см., например, [4]). Отметим, что стохастические субградиенты $q_x(\cdot, \cdot), q_y(\cdot, \cdot)$ должны удовлетворять дополнительным условиям независимости, несмещенности и ограниченности вторых моментов. Показано, что разумно выбрать последовательности $\gamma_k \equiv 1$ и

$$\beta_k = \beta_0 \sqrt{k+1}, \quad \delta_k = \delta_0 \sqrt{k+1}; \quad (6)$$

они приводят к верхней границе (3) для описанного выше алгоритма ЗС.

Параметры β_0 и δ_0 определены в [4].

Адаптивный алгоритм ЗС отличается от описанного выше неадаптивного алгоритма ЗС рекуррентно формируемыми последовательностями вместо (6), а именно:

$$\beta_k = \sqrt{\beta_{k-1}^2 + (\alpha_x \bar{V})^{-1} \|q_x(x_{k-1}, y_{k-1})\|_{x,*}^2},$$

$$\delta_k = \sqrt{\delta_{k-1}^2 + (\alpha_y \bar{T})^{-1} \|q_y(x_{k-1}, y_{k-1})\|_{y,*}^2}.$$

Подробнее см. [4] и [5]. В докладе приведен иллюстративный пример.

Литература

1. Нейман Дж., фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 2012. – 708 с.
2. Партхасаратхи Т., Рагхаван Т. Некоторые вопросы теории игр двух лиц. – М.: Мир, 1974. – 298 с.
3. Немировский А. С., Юдин Д. Б. Сложность задач и эффективность методов оптимизации. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
4. Назин А. В., Тремба А. А. Игровой алгоритм зеркального спуска в задаче робастного PageRank // Автомат. и телемех. – 2016. – № 8. – С. 105–124.
5. Назин А. В. Адаптивные алгоритмы зеркального спуска в задачах выпуклой стохастической оптимизации // Труды ИСА РАН. – 2014. – Том 64. – № 3. – С. 7–12.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.026

УДК: 330.4

Е.Р. Орлова

Москва, ФИЦ ИУ РАН

МАКРОСИСТЕМЫ И МЕГАПРОЕКТЫ: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ*

Аннотация

В статье анализируются сходства и различия таких понятий как макросистема и мегапроект. Делается вывод о том, что мегапроекты можно рассматривать как разновидность макросистем, т.е. систем, состоящей из множества взаимосвязанных подсистем. Для оценки эффективности функционирования макросистем возможно применение тех же критериев оценки эффективности, что и для мегапроектов, т.е. общественную эффективность.

Ключевые слова:

макросистема, мегапроект, общественная эффективность, критерий эффективности, экстерналии.

E.R. Orlova

Moscow, FRC Computer Science and Control, RAS

MACRO-SYSTEMS AND MEGAPROJECTS: SIMILARITIES AND DIFFERENCES

* Статья частично подготовлена при финансовой поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 18-29-03215

Abstract

In the article similarities and differences of such concepts as macro-system and mega-project are analyzed. A conclusion is made that megaprojects can be regarded as a variety of macro-systems, i.e. systems that consist of a multitude of interconnected sub-systems and it is often possible to evaluate macro-systems' functioning by the same criteria as in case of mega-projects, i.e. social efficiency.

Keywords:

macro-system, mega-project, social efficiency, efficiency criteria, externalities.

Наиболее общим определением макросистемы является следующее. Макросистема – это большая, масштабная система, состоящая из множества малых систем, микросистем. Макросистемы характерны для любых областей – физики, химии, биологии, астрономии, экономики и т.д. В каждой из этих областей существуют собственные подходы к анализу, классификации и детализации. В данной статье хотелось бы остановиться только на одном направлении, на экономике. И именно исходя из экономических соображений, говорить о сходстве и различии макросистем и мегапроектов.

Экономические макросистемы также могут классифицироваться по различным классификационным признакам:

- по структуре. Здесь выделяют самые разные межотраслевые комплексы (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и связь), финансовую систему, социальную сферу, инфраструктуру и т.д.;

- по целям и задачам. Здесь можно говорить о росте ВВП, снижении бедности, инновационном развитии страны, внедрении цифровой экономики и искусственного интеллекта и т.д.;

- по системе управления. Здесь принято выделять структуры управления различного типа: высшие органы государственной власти, министерства, концерны межотраслевого характера.

Какой бы классификационный признак не был взят, в рамках выделенных направлений могут быть реализованы инвестиционные проекты. Когда речь идет о макро-направлениях, макросистемах, то говорят о реализации мегапроектов.

Мегапроект – это целевая программа (крупный инвестиционный проект), содержащая совокупность взаимосвязанных проектов, объединенных общей целью, выделенными ресурсами и отпущенным на их выполнение временем.

Каждый год рассматриваются все новые мегапроекты. Например, в 2011 году были обозначены семь мегапроектов, финансируемых в значительной степени из федерального бюджета. На реализацию этих проектов до 2020 года предполагалось потратить более 20 трлн. руб., (два федеральных бюджета 2011 г.). Среди этих проектов: Новая Москва, Кавказ, Сочинская олимпиада, строительство газопроводов (Северный и Южный поток, Алтай), ГЛОНАС, АТЭС-2012, Сколково. 2020 год наступил. На настоящий момент потрачены существенно большие деньги. К сожалению, ни по одному из этих глобальных проектов до сих пор нет достоверных финансовых (зачастую вообще никаких) оценок эффективности и рациональности.

Еще одним мегапроектом стало сооружение транспортного перехода через Керченский пролив. В феврале 2016 года началось строительство самого моста. Изначально в рамках Федеральной целевой программы на создание мостового перехода через Керченский пролив было предусмотрено почти 247 млрд. руб.

В настоящее время планируется, что опережающий рывок может произойти в России при реализации 12 национальных проектов, в числе которых «Здравоохранение», «Образование», «Экология», «Культура», «Демография», «Жилье и городская среда», «Цифровая экономика РФ». Национальный проект «Цифровая экономика» состоит из нескольких отдельных проектов (по сути, также мегапроектов) – «Нормативное регулирование цифровой среды», «Кадры для цифровой экономики», «Информационная инфраструктура», «Информационная безопасность», «Цифровые технологии», «Цифровое государственное управление».

Как уже было сказано ранее, все перечисленные проекты действительно являются мегапроектами, так как представляют собой целевые программы, содержащие несколько взаимосвязанных проектов, объединенных общей целью, выделенными ресурсами и отпущенным на их выполнение временем, и представляют собой экономические макросистемы.

Неудивительно, что разработка и реализация мегапроектов, построение экономических макросистем, стоят дорого, и причина дороговизны заключается не только в их масштабности. Это также связано с тем, что присущая мегапроектам неопределенность не позволяет исчерпывающим образом расписать их цели и структуру, что для финансирования используются в основном привлеченные, заемные и/или бюджетные средства, что простой техники дисконтирования денежных потоков недостаточно для определения их эффективности.

Основными рисками, которые свойственны мегапроектам, как макросистемам, являются:

- риск несоответствия полученного результата замыслу;
- риск, связанный с невозможностью полностью контролировать ситуацию;
- риск незавершения проекта в целом или затягивание сроков реализации проекта в частности;
- риски, связанные с игнорированием возможных негативных последствий.

Подробное рассмотрение упомянутых ранее мегапроектов позволило сделать вывод, что все перечисленные нами риски им присущи, и большая часть этих проектов коммерчески малоэффективна. Но когда речь идет о крупных, масштабных проектах, необходима оценка их эффективности с позиции государства и общества, и, при этом нельзя ограничиваться только учетом финансового результата для небольшой ограниченной группы непосредственно задействованных в проекте лиц, нужен системный анализ последствий реализации проекта для государства в целом.

Проведенное исследование позволило сделать вывод о чрезвычайной сложности задачи оценки общественной эффективности мегапроектов по сравнению с коммерческой эффективностью.

Значительную трудность представляет задача учета влияния внешних эффектов (экстерналий) проекта, обеспечивающая полноту оцениваемых последствий. Причем для наиболее крупных и значимых проектов помимо социальных и экологических экстерналий необходимо учитывать политические

экстерналии, то есть последствия, которые может оказать проект на экономику и имидж страны.

Сейчас становится все более очевидным, что при оценке мегапроектов, представляющих собой, по сути, экономические макросистемы, необходимо учитывать политические экстерналии, которые заключаются в оценке эффекта с проектом и без проекта с точки зрения политического имиджа страны. Хотя вышесказанное отнюдь не означает, что стоит браться за заведомо коммерчески неэффективные проекты.

Литература

1. Алексанов Д. С., Кошелев В. М. Экономическая оценка инвестиций, М.: Колос-Пресс, 2002
2. Бочарова И.Е. Клименко С.И., Орлова Е.Р. Системный подход к оценке мегапроектов, реализуемых в современной России. В сб. трудов VI Международной школы-симпозиума АМУР-2012, Севастополь, 2012, С. 62-66
3. Виленский П. Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: 5-е издание. - М.: Поли Принт Сервис, 2015. - 1300 с.
4. Орлова Е.Р. Инвестиции. 8-е издание, М.: Омега-Л, 2015
5. Орлова Е.Р. Системный подход к оценке инвестиционных проектов // Имущественные отношения в Российской Федерации, №12, 2012, С. 21-24
6. Орлова Е.Р., Сафин Р.Н. Оценка общественной эффективности инвестиционных проектов в современной России // Труды ИСА РАН. Том 61, выпуск 3, 2011, С. 53-64.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.027
УДК 51-74

Ю.С. Попков

Москва, ИСА ФИЦ ИУ РАН

ЭЛЕМЕНТЫ РАНДОМИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ СУТОЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ*

Аннотация

Развит метод рандомизированного прогнозирования, основанный на генерации ансамблей энтропийно-оптимальных прогнозных траекторий. Последние генерируются рандомизированными моделями динамической регрессии, содержащих случайные параметры, измерительные шумы и случайный вход.

Ключевые слова:

рандомизированное машинное обучение, энтропия, динамическая регрессия, электрическая нагрузка.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-07-00470).

Y.S. Popkov

Moscow, Institute for Systems Analysis, RAS

ELEMENTS OF RANDOMIZED PREDICTION WITH APPLICATION TO FORECASTING OF DAILY ELECTRICAL LOAD IN ENERGY SYSTEMS

Abstract

A new method of randomized prediction based on generation of ensemble of entropy-optimal predictive trajectories has been developed. They are generated by randomized dynamic regression models with random parameters, measurement noises and random input.

Keywords:

randomized machine learning, entropy, dynamic regression, electrical load

Функции плотности распределения вероятностей случайных параметров и измерительных шумов оцениваются с использованием реальных данных в рамках процедуры рандомизированного машинного обучения. Генерация ансамблей прогнозных траекторий осуществляется путем сэмплирования энтропийно-оптимальных ПРВ.

Предлагаемая процедура применяется для рандомизированного прогнозирования суточной нагрузки региональной энергетической системы. Синтезирована стохастическая предсказательная модель колебательной динамической регрессии со случайным входом. Метод рандомизированного оценивания адаптирован к данному классу моделей. Произведена первичная обработка реальных данных об изменениях суточной нагрузки энергетической системы GFS2014. Получены оценки функций распределения вероятностей параметров модели и входных шумов. Построены одно-, двух- и трехсуточные прогнозы и исследованы их погрешности.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.028

УДК 004.9, 681.518

В.К. Пимешков, В.В. Диковицкий, М.Г. Шишаев

Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ ТЕЗАУРУСА ИЗ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ*

Аннотация

Работа посвящена автоматизации извлечения знаний из неструктурированного текста с целью их прикладного использования в задачах извлечения фактов, формирования и пополнения тезауруса, анализа согласованности документов. Для извлечения и структурирования знаний используются методы статистического и лингвистического анализа.

* Работа частично поддержана РФФИ, номер проекта 20-07-00754.

Ключевые слова:

Автоматизированное извлечение знаний, дистрибутивная семантика, тезаурус, семантическая сеть

V.K. Pimeshkov, V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

EXTRACTION OF RELATION FROM NATURAL LANGUAGE TEXTS USING STATISTICAL AND LINGUISTIC METHODS

Abstract

The work is devoted to the automated extraction of knowledge from unstructured text with the aim of their application in fact extraction, the formation and replenishment of a thesaurus, analysis of document consistency. To extract and structure knowledge, methods of statistical and linguistic analysis are used.

Keywords:

Automated knowledge extraction, distribution semantics, thesaurus, semantic network.

С ростом объемов текстовых данных, подлежащих обработке в рамках различных прикладных проблем, становится все более актуальной задача автоматического извлечения и обработки формализованных знаний. Задачи анализа текста многоаспектна и включает отдельные подзадачи, в частности: Извлечение сущностей (entity recognition), извлечение признаков (feature extraction), определение отношений между объектами. Объединение решения всех перечисленных задач позволяет извлекать формализованные знания о предметной области в виде понятий и структуры их взаимосвязей.

В данной работе используется автоматическое извлечение объектов, и их свойств и отношений путем многоуровневого анализа тематических текстов предметной области. Процедура анализа текста включает комбинацию статистических и лингвистических методов с целью взаимного уточнения результатов. На первом этапе применяются методы дистрибутивного анализа – определение частотных характеристик каждого слова в рассматриваемой коллекции документов, учет статистики совместного употребления, определение контекстной близости слов. Формируется взвешенная ассоциативная семантическая сеть[1], весовой коэффициент формируется исходя из частотных характеристик совместного употребления слов. Векторизация слов используется на данном этапе для оценки контекстной близости слов с целью определения устойчивых словосочетаний и денотатов каждого слова. Также векторизация позволяет проводить анализ относительно небольших наборов текстовых документов, уточняя результаты ассоциативного отношения. Показателем контекстной близости является косинусная близость между векторами слов, полученными дистрибутивными моделями на основе больших корпусов текстов.

На втором уровне производится формирование синтаксических деревьев исходных текстов, и последующая интеграция полученных деревьев в модель семантической сети с множественными связями. Для синтаксического и морфологического анализа использована основанная на машинном обучении библиотека SyntaxNet[2], включающая синтаксическую модель русского языка. Синтаксическую разметку составляют 44 отношения Universal Dependencies[3]

(UD). UD разметка упорядоченно представляет межъязыковые соответствия и основана на существующих стандартах разметки

Определение парадигматических отношений основано на предположении о существовании связи лексико-семантического и синтаксического уровней языка при актуализации оценочных значений языковых единиц. Интерпретация оценочных предикатов как особых лексико-грамматических классов слов предложена в работе [6].

Для определения морфологических и синтаксических характеристик, определяющих синтагматические и парадигматические отношения, было произведено построение взвешенной семантической сети, полученной на наборе аннотаций русскоязычных статей Википедии. Для определения и систематизации синтаксические, морфологические и статистические характеристики понятий мультиграфа, выражающих одно парадигматическое отношение, были сгруппированы. В качестве эталона парадигматических отношений общеупотребительной лексики использован тезаурус WordNet. Для приведения к формату списка двуместных отношений синонимичные ряды тезауруса были разложены на множества двуместных отношений. Парадигматические отношения тезауруса над синонимичными рядами при этом были установлены между каждой парой слов из различных синонимичных рядов. Далее получено пересечение множеств слов присутствующих в тезаурусе и семантической сети, а также двуместные отношения между словами.

В результате было получено 2534 бинарных отношений, в ходе анализа которых было отмечено превалирование определенных групп синтаксических отношений текста википедии для некоторых парадигматических отношений тезауруса. Гипонимы в 39% выполняют синтаксическую роль «conjunct» и в 51% случаев роль «nominal modifier». Гиперонимам в 68% случаев соответствует синтаксическая роль «conjunct» и в 26% «nominal modifier». Для разделения гипонимов и гиперонимов учитывается направление двуместного отношения.

Отличить парадигматические отношения в рамках одной синтаксической роли предложено также за счет учета определенной Word2Vec контекстной близости. Также различные синтаксические роли имеют различные связи с другими вершинами семантической сети, в частности применимы с различными предлогами и пунктуацией. Пример антонимов («автомобиль, а не самолет», «автомобиль и другие транспортные средства»). Учитываются и морфологические свойства слов, определенные SyntaxNet. Были получены классы объектов, связанные одним и тем же отношением и определено множество схожих морфологических признаков. В результате применения алгоритма, основанного на рассматриваемой эвристике, 1697 прагматических отношений были правильно отмечены в отношении тезауруса WordNet, что составляет 67% от общего числа случаев. Полученные результаты указывают на перспективы подхода, используемого для выявления парадигматических отношений в текстах на естественном языке. В то же время точность эвристического алгоритма может быть увеличена, как за счет использования улучшенных процедур идентификации, так и за счет расширения пространства признаков. Далее был построен классификатор отношений тезауруса WordNet, на основе нейронной сети.

Набор признаков, характеризующих экземпляры для распознавания, состоит из морфологических признаков главного и зависимого слов, соответствующих этим словам 300-мерных векторов Word2Vec, семантического (косинусного) расстояния между ними, типа соединяющего их UD-отношения и

также параметры пары слов из тезауруса WordNet. Векторизация осуществлялась моделью ruwikirus-corpora_upos_skipgram_300_2_2019 [4]. Число определенных классов отношений в WordNet равно 16. Образованный таким образом обучающий набор включает в себя 3680 векторов по 627 параметров.

В качестве инструмента для реализации искусственной нейронной сети использовалась библиотека Keras [5]. Приемлемые результаты были получены для сети, состоящей из четырех полносвязных слоев. Функции активации, используемые на каждом слое, были выбраны опытным путем - softmax, ReLu, сигмоид.

Обучение проводилось в 20 эпох на 2069 образцах и оценивалось на 690 образцах. Для оценки качества классификатора используются метрики точности полноты. Также была оценена F-мера - среднее гармоническое точности и отзыва (F-мера достигает максимума с полнотой и точностью, равной единице, и близка к нулю, если один из аргументов близок к нулю). На контрольном наборе точность составила 79%. Графики характеристик точности, полноты, F-меры и функций ошибок представлена на рисунке 1.

Поведенные эксперименты продемонстрировали в целом эффективность предложенного подхода к автоматической идентификации предметных отношений из текстов на естественном языке, основанного на комплексе синтаксических, частотных и семантических характеристик. В то же время, использование дистрибутивной семантики текста в рамках нейросетевого подхода к анализу позволило значительно повысить точность распознавания, что подтверждает перспективу объединения лингвистического и распределительного анализа в задачах автоматического понимания текста.

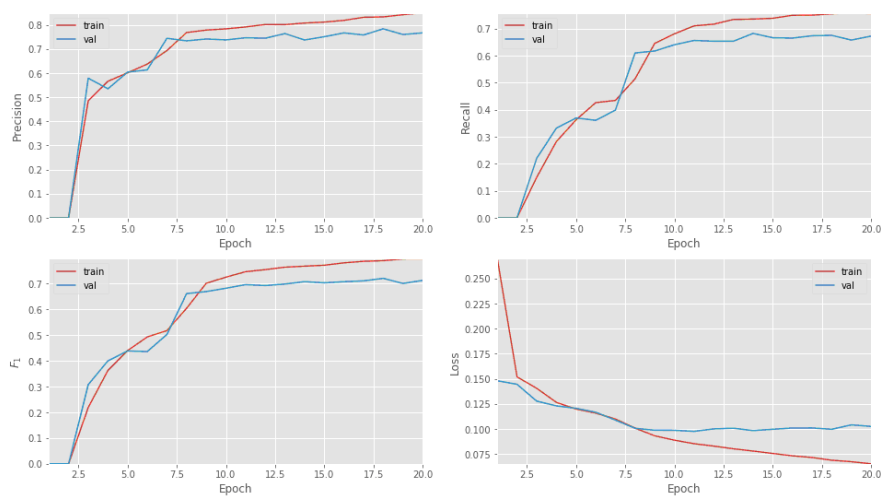


Рис. 1. Характеристики точности, полноты, F-меры и функций ошибок

Литература

1. Dikovitsky V.V., Shishaev M.G.. Automated Extraction of Deontological Statements Through a Multilevel Analysis of Legal Acts. Computational and Statistical Methods in Intelligent Systems, pp. 102-110
2. Библиотека программного обеспечения с открытым исходным кодом для Machine Intelligence TensorFlow: <https://www.tensorflow.org/>

3. Фреймворк для кросс-лингвистически последовательной грамматической аннотации на 60 языках. URL: <http://universaldependencies.org>
4. Semantic models for the Russian language. <https://rusvectors.org/ru/models/>
5. Keras: The Python Deep Learning library. <https://keras.io/>
6. Золотова, Г.А.; Онипенко, Н.К. Сидорова, М.Ю. Коммуникативная грамматика русского языка. Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН. 544 с., 2004. ISBN: 5-88744-050-3

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.029

УДК 004.9

А.Л. Щур, И.О. Датъев, А.М. Фёдоров

Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

АНАЛИЗ ОНЛАЙНОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ: ОСНОВНЫЕ СЛОЖНОСТИ И ОБЛАСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация

Сервисы онлайн-социальных сетей являются одним из самых популярных видов социальных медиа в мире. В докладе рассматриваются некоторые области исследований, построенных на задействовании информации, получаемой из соцсетей, а также основные проблемы, возникающие у при попытке экстракции этих массивов данных.

Ключевые слова:

информационные технологии, социальные сети, обработка данных, электронное участие, big data.

A.L. Shchur, I.O. Datyev, A.M. Fedorov

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

SOCIAL NETWORKING SERVICES ANALYSIS: MAIN CHALLENGES AND APPLICATION AREAS

Abstract

Online social networking services are one of the most popular types of social media in the world. The report discusses some areas of research built on the use of information obtained from social networks, as well as the main difficulties that arise during the extraction of these data arrays.

Keywords:

information technologies, social networking services, data processing, e-participation, big data

Введение

На сегодняшний день сервисы онлайн-социальных сетей являются одним из самых популярных и обширных по набору функций видов социальных медиа. Они позволяют практически любому пользователю, даже обладающему минимумом технических знаний, не только быстро получать интересующую его

информацию, но и делиться созданным контентом, будь то текст, фотографии, звуковые сообщения или видео, с другими пользователями.

Благодаря такой многофункциональности социальные сети стали не только огромной базой данных, но и сложной взаимосвязанной системой, вовлеченной в самые разные области жизни общества. Как следствие, они являются важным объектом для экономических, политических и социальных исследований.

Многие коммерческие компании используют социальные сети в маркетинговых целях[1]: проводится анализ предпочтений потребителей[2], мониторинг представленности конкретного бренда[3], рекламное продвижение товара целевым аудиториям[4]. По схожей схеме в некоторых странах строятся и политические предвыборные кампании. Также была неоднократно отмечена польза социальных сетей как средства раннего оповещения и связи во время стихийных бедствий и других чрезвычайных ситуаций[5,6]. Данные соцсетей используются для противодействия экстремизму, терроризму и различным видам преступной деятельности[7].

На основе открытой информации из социальных сетей изучается туристическое и миграционное поведение людей, привлекательность стран, регионов или конкретных мест[8,9]. Еще одной сферой использования социальных сетей является общественный транспорт: существуют системы, отслеживающие степень загруженности городских линий транспорта на основе данных из Twitter и Facebook[10]. Даже в сфере медицины проводятся исследования с помощью социальных сетей, определяющие общий уровень здоровья у населения и отслеживающие отношение к фармакологическим свойствам препаратов[11].

Отдельной обширной темой для исследований является роль онлайн-социальных сетей в рамках т.н. электронного государства (э-государства), концепция которого активно продвигается директивами ООН. Одной из базовых основ э-государства является принцип “электронного участия” (e-participation), который заключается не только в мониторинге обратной реакции граждан на принимаемые законы, но и в выработке механизмов совместного принятия решений, когда население участвует в определении и решении насущных проблем наравне с государственными органами[12].

Анализ сложностей использования

Наряду со множеством сфер применения, обнаруженных за последнее десятилетие, по мере изучения возможностей социальных сетей стали выявляться и основные проблемы, связанные с их использованием в качестве источника данных.

Найденные проблемы можно условно поделить на две ключевые группы:

- 1) проблемы, касающиеся непосредственно процесса извлечения и хранения данных;
- 2) проблемы обработки данных для дальнейшего их использования.

В первой категории можно выделить трудности следующего характера: *технические, правовые, этические.*

Технические трудности:

- а) извлечение данных:
 - *авторизация в системе;*

- ограничения по времени (количество запросов в единицу времени);
- количественные ограничения по сбору данных;
- пользовательские ограничения на доступ к информации;
- б) хранение данных:
 - большой объем и связанные с этим проблемы;
 - сочетание методов из разных областей знаний, необходимое для обработки данных.

Правовые трудности:

- а) отсутствие общепринятых мировых правовых норм;
- б) полярные точки зрения на проблему:
 - все, что публикуется пользователем или о пользователе в социальных сетях, немедленно становится общедоступным;
 - вся опубликованная пользователем информация является его персональными данными.

Этические трудности:

- а) сохранение конфиденциальности;
- б) идентичности;
- в) прав собственности;
- г) репутации.

Вторая группа проблем включает в себя моменты, связанные с непосредственным извлечением информации из полученного массива данных, необходимой для конкретного исследования. Сюда можно отнести трудности такого характера как:

- личностный характер подачи информации;
- временная и смысловая релевантность;
- контекстуальность.

Поскольку онлайн-сети являются социальным конструктом, любая информация в них должна рассматриваться с учетом позиции ее автора и тенденций в обществе на момент изучения. Также пользовательский контент не всегда является правдивым: он может отражать субъективную точку зрения, в него может быть заложено сразу несколько смыслов, или даже намеренно ложный – для оправдания позиции автора или возбуждения социальной активности.

Заключение

Безусловно, нельзя утверждать, что названный перечень проблем использования социальных сетей в качестве источника данных является полным. Онлайн-сервисы эволюционируют с каждым годом, предлагая пользователям все новые и новые формы общения и передачи информации. Поэтому одним из немаловажных направлений дальнейших исследований, связанных с социальными сетями, должны являться как постоянный мониторинг происходящих изменений, так и дальнейшее углубленное изучение особенностей и сложностей их применения.

Литература

1. Barger, V., Peltier, J., Schultz, D.: Social media and consumer engagement: A review and research agenda. *J. of Research in Interactive Marketing*. 10(4), 268-287 (2016)
2. Taylor, B.: Understanding Consumer Preferences from Social Media Data. *NIM Marketing Intelligence Review*. 11(2), 48-53 (2019). doi: 10.2478/nimmir-2019-0016
3. Aggrawal, N., Ahluwalia, A., Khurana, P., & Arora, A.: Brand analysis framework for online marketing: ranking web pages and analyzing popularity of brands on social media. *Social Network Analysis and Mining*. 7, 1-10 (2017).
4. Voorveld, H., Noort, G., Muntinga, D., Bronner, F.: Engagement with Social Media and Social Media Advertising: The Differentiating Role of Platform Type. *J. of Advertising*. 47(1), 38-54. (2018). doi: 10.1080/00913367.2017.1405754
5. Ghosh, S., Ghosh, K., Ganguly, D. et al.: Exploitation of Social Media for Emergency Relief and Preparedness: Recent Research and Trends. *Inf. Syst. Front*. 20, 901-907 (2018).
6. Ehnis C., Bunker D.: Social Media in Disaster Response: Queensland Police Service - Public Engagement During the 2011 Floods. In: *ACIS 2012: Proceedings of the 23rd Australasian Conference on Information Systems*, pp. 1-10, Geelong, Victoria, 3-5 Dec. 2012
7. Ahmad, S., Asghar, M.Z., Alotaibi, F.M. et al.: Detection and classification of social media-based extremist affiliations using sentiment analysis techniques. *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci*. 9, 24 (2019). doi: 10.1186/s13673-019-0185-6
8. Bojic, I., Belyi, A., Ratt, C., Sobolevsky, S.: Scaling of foreign attractiveness for countries and states. *Applied Geography*. 73, 47-52 (2016).
9. Dekker, R., Engbersen, G.: How Social Media Transform Migrant Networks and Facilitate Migration. *Global Networks*. 14, 401-418 (2014). doi: 10.1111/glob.12040.
10. Li, D., Zhang, Y., Li, C.: Mining Public Opinion on Transportation Systems Based on Social Media Data. *Sustainability*. 11, 4016 (2019).
11. Miftahutdinov, Z., Tutubalina, E.: End-to-End Deep Framework for Disease Named Entity Recognition Using Social Media Data. *2017 IEEE 30th Neumann Colloquium*, pp. 47-52, Budapest, Hungary (2017).
12. Power, D., Phillips-Wren, G.: Impact of social media and web 2.0 on decision making. *Journal of Decision Systems*, 20(3), 249-261 (2011).

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.030
УДК 304.2, 004.622

А.Л. Щур, А.М. Федоров, И.О. Датьев

*Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ
КНЦ РАН*

ОНЛАЙНОВЫЕ СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ И E-PARTICIPATION

Аннотация

В докладе рассматриваются различные способы использования массивов открытых данных социальных сетей в качестве прикладного инструмента в рамках инициативы «электронного участия» как составной части демократического государства на муниципальном и региональном уровне. Также изучаются некоторые перспективы их дальнейшего исследования.

Ключевые слова:

э-государство, социальные сети, электронное участие, big data

A.L. Shchur, A.M. Fedorov, I.O. Datyev

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

SOCIAL NETWORKING SERVICES AND E-PARTICIPATION

Abstract

The report discusses various ways of using open data arrays of social networks as an application tool in the framework of the e-participation initiative as an integral part of a democratic administering at the municipal and regional levels. Some prospects for their further research are also being discussed.

Keywords:

e-government, social networking services, e-participation, big data.

Одной из популярных на сегодняшний день потенциальных областей применения социальных сетей является задействованность в процессах совместного демократического управления (т.н. «электронного участия», e-participation) на уровне региональных и муниципальных администраций. Перспективность этого направления обусловлена недостаточной проработкой способов и моделей общения между исполнительной властью на уровне субъектов Российской Федерации и населением [1, 2]. Несмотря на полноценную представленность органов городского и областного управления на специализированных государственных сайтах, задействованность их в социальных сетях по-прежнему является недостаточной для полноценного диалога с гражданами.

Для определения возможностей, способов применения и достоверности данных, содержащихся в социальных сетях, в рамках использования их для поддержки принятия решений и как инструмента e-participation, авторами был проведен ряд исследований. Основным объектом исследований выступила социальная сеть «ВКонтакте» как самая распространенная и популярная на территории Российской Федерации. Также в некоторых исследованиях учитывались данные сервисов Facebook и Twitter.

В статье [3] были рассмотрены методы мониторинга сообществ в социальных сетях с попыткой выяснить, можно ли исследовать реальные территориальные характеристики сообществ на основе их представлений в виртуальной среде. Также был проведен эксперимент по определению процентного соотношения людей, состоящих в сообществах с ярко выраженным территориальным контекстом, с указанным ими же местом проживания и/или пребывания.

В последовавшей работе [4] снова был поднят вопрос о потенциале социальных сетей как источника данных для принятия решений – на этот раз, на государственном уровне. Тематикой исследования была выбрана оценка степени цифровизации страны. После чего при помощи разработанного программного обеспечения был осуществлен эксперимент по сравнению официальных данных о цифровизации различных населенных пунктов и регионов России, представленных Росстатом, с цифрами, полученными опытным путем посредством прямого подсчета зарегистрированных пользователей социальных сетей.



Рис. 1. Соотношение количества зарегистрированных жителей в населенных пунктах и пользователей в социальной сети “Вконтакте”

Дальнейшее исследование [5] было направлено на изучение проблемы использования социальных сетей органами государственного и регионального управления. В ходе работы были выделены текущие и потенциальные технические и этические трудности полной реализации концепции электронного участия (e-participation), проведен анализ представленности администрации Мурманской области в социальных сетях и сделаны выводы о необходимых дальнейших этапах работы.

Следующим логическим шагом [6] стал уже более структурированный подход к проблеме. Были рассмотрены различные аспекты создания фреймворка информационной технологии для анализа гражданской активности в социальных сетях. Целью фреймворка является помощь в поиске и обобщении существующих проблем управления регионом/областью/городом, а также в нахождении предлагаемых гражданами вариантов решения этих проблем.

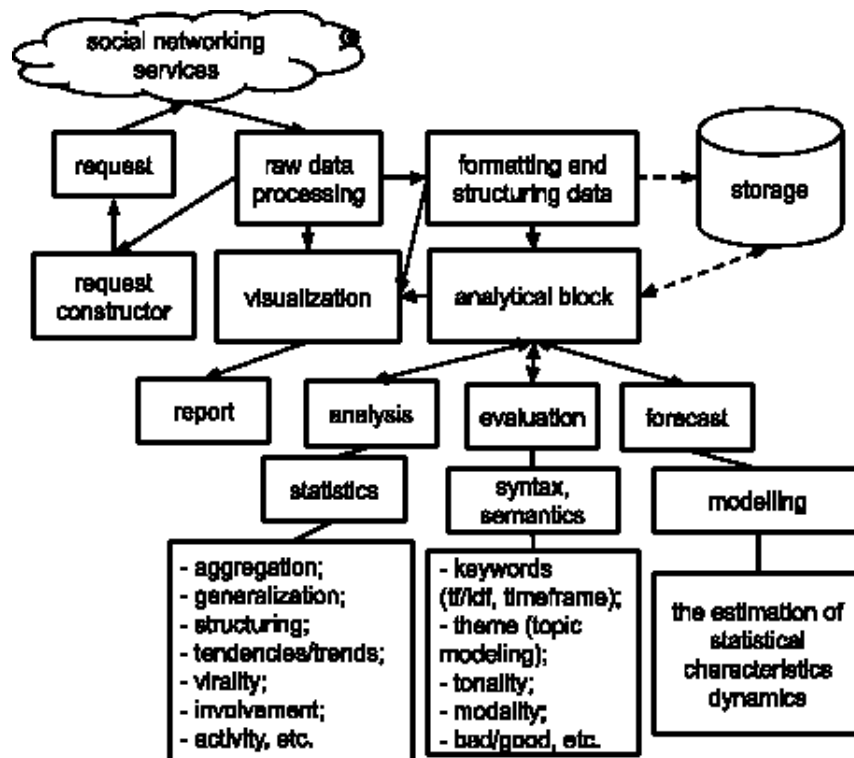


Рис. 2. Основные блоки фреймворка

Литература

1. <https://b-port.com/news/237283>
2. <https://news.mail.ru/politics/40400788/>
3. Information Monitoring of Community's Territoriality Based on Online Social Network
4. Online social networks analysis for digitalization evaluation
5. Social Networking Services as a Tool for State and Regional Governance
6. Framework for civic engagement analysis based on open social media data

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.031

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев, А.С. Шемякин

Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ*

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема НИР № 0226-2019-0035), а также при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-00167-а).

Аннотация

Рассматриваются задачи компьютерной поддержки управления в чрезвычайных ситуациях (ЧС) техногенного и природного характера. Подразумеваются локальный, муниципальный, региональный уровни ЧС. В настоящей работе основное внимание уделено не расчётным, аналитическим методам планирования и контроля, а вопросам визуализации обстановки, анимации, виртуального манипулирования действиями объектов управления.

Ключевые слова:

чрезвычайные ситуации, компьютерное моделирование, неопределённость

S.Yu. Yakovlev, A.S. Shemyakin

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

INFORMATION TECHNOLOGY OF GRAPHIC MODELING OF DECISIONS TAKEN UNDER UNCERTAINTY

Abstract

The problems of computer support for emergency management are considered. Local, municipal, regional emergency levels are implied. In present work, main focus is not on calculated, analytical methods of planning and control, but on issues of visualizing the situation, animation, and virtual manipulation of actions of control objects.

Keywords:

emergencies, computer modeling, uncertainty.

Рассматриваются задачи компьютерной поддержки управления в чрезвычайных ситуациях (ЧС) техногенного и природного характера. Подразумеваются локальный, муниципальный, региональный уровни ЧС. Неотъемлемыми особенностями этих задач являются неточность и неопределённость информации при принятии решений. Общие подходы к управлению в условиях неопределённости представлены в [1-3].

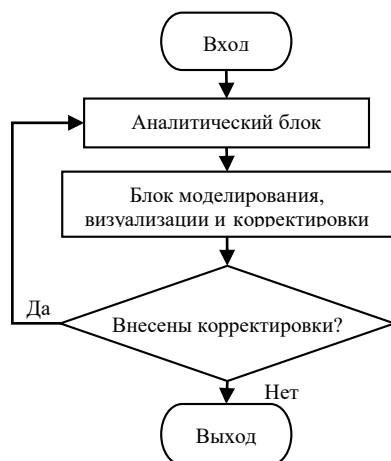


Рис. 1. Алгоритм информационно-аналитического обеспечения БЧС

В настоящей работе основное внимание уделено не расчётным, аналитическим методам планирования и контроля, а вопросам визуализации обстановки, анимации, виртуального манипулирования действиями объектов управления. Целью графического моделирования является повышение возможностей ЛПР за счёт создания привычных зрительных образов и, тем самым, снижение степени неопределённости. Обзор состояния информационных технологий визуализации, виртуального окружения в сфере борьбы с ЧС (БЧС) можно найти в статье [4].

Представим задачу информационно-аналитического обеспечения БЧС в виде обобщённого алгоритма (рис. 1).

Аналитический блок содержит совокупность расчётных математических моделей планирования и контроля. В настоящей работе этот блок представляет собой «чёрный ящик», на выходе которого – план действий сил и средств БЧС в той или иной форме.

Основное внимание уделено второму компоненту алгоритма – блоку графического моделирования. Типовые компоненты блока приведены на рис. 2.

<i>Территория (акватория)</i>
<i>Инфраструктура</i>
<i>Опасные процессы и объекты</i>
<i>Силы и средства БЧС</i>
<i>Сценарии ЧС</i>
<i>Технологии БЧС</i>
<i>Планы действий</i>

Рис. 2. Структура блока графического моделирования

Каждый субблок, в зависимости от решаемой задачи, имеет свою внутреннюю структуру.

Территория может быть представлена плоским ситуационным планом, двумерной геоинформационной картой, трёхмерной моделью.

Инфраструктура подразумевает дорожную сеть, телекоммуникации, энергетические коммуникации.

Опасные процессы представлены технологическими циклами: производство, хранение, применение, переработка и т.п.

В рамках технологических процессов функционируют химически опасные объекты, гидротехнические сооружения, взрывопожароопасные объекты (склады, базы, трубопроводы и т.п.).

Силы и средств БЧС включают состав и перечень, места дислокации, атрибуты функционирования.

Сценарии ЧС могут быть представлены, например, в виде древовидных структур (деревья событий, отказов).

Технологии борьбы с ЧС можно разделить на технологии, предназначенные для территории и для акватории. Также можно произвести

разделение по этапам борьбы с ЧС, например, различные технологии этапа локализации и технологии этапа ликвидации аварий.

Планы действий обычно представляются в виде календарных планов (стрелочно-временных диаграмм).

Для эффективного управления в БЧС, ввиду неустраняемой неполноты и неточности информации, недостаточно только аналитических, расчётных методов и моделей. Имитация и графическое отображение вариантов действий снижают неопределённость, но требуют дополнительных ресурсов. Необходимую степень детализации обстановки предлагается определять, исходя из величин:

r – риск чрезвычайной ситуации,

s – цена ошибки ЛПП.

На осях r и s выделены промежутки, условно говоря, больших, средних и малых значений. В результате плоскость rs разбивается на области (прямоугольники). Для каждой области обоснован вариант реализации программного комплекса (ПК) моделирования и визуализации.

Таким образом, информационная технология позволяет выбрать исполнительную среду, соответствующую уровням риска и неопределённости. Имитация действий и отображение возможных ситуаций повышают информационную обеспеченность ЛПП и снижают вероятность принятия ошибочных решений.

Апробация предложенного подхода, выполненная на примере учёта рельефа местности при расчёте зоны поражения при аварии, показала, что информационная технология позволяет обосновать рациональный вариант комплектации программного комплекса.

Литература

1. Колесников, Е.Ю. Количественное оценивание неопределённости техногенного риска. Ч.1 / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. – Т. 10, 2013, № 2. -С.48-71.
2. Колесников, Е.Ю. Количественное оценивание неопределённости техногенного риска. Ч.2 / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. – Т.10, 2013, № 3. -С.8-31.
3. Яковлев С.Ю. Проблема учёта неопределённости при управлении региональной безопасностью // Труды Кольского научного центра РАН. - 3/2017(8). Информационные технологии. – Вып. 8. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2017. – С.54-61.
4. Клименко А.С. Методы и средства повышения реалистичности моделирования и визуализации в системах виртуального окружения. // В сборнике «Международная конференция RESILIENCE2014 международного центра по ядерной безопасности института физико-технической информатики». Протвино, 25-28 ноября 2014 г. 2014: 110-134.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.8.11.032
УДК 004.9

С.Ю. Яковлев, А.С. Шемякин, А.В. Шестаков

*Апатиты, Институт информатики и математического моделирования ФИЦ
КНЦ РАН*

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЧЁТА РЕЛЬЕФА ПРИЛЕГАЮЩЕЙ МЕСТНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННО- ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ И РИСКОВ*

Аннотация

В настоящий момент уровень развития ГИС-технологий таков, что реализовать модель возникновения и развития чрезвычайных ситуаций можно средствами единой геоинформационной системы, имея при этом возможность использовать множество функций, заложенных в систему, и обращаясь к пространственным данным через API-интерфейс. В данной работе даётся пример создания трёхмерной модели аварии средствами QGIS, иллюстрирующий возможности этой ГИС для решения задач борьбы с чрезвычайными ситуациями.

Ключевые слова:

ГИС, 3D-моделирование, чрезвычайные ситуации

S.Yu. Yakovlev, A.S. Shemyakin, A.V. Shestakov

Apatity, Institute for Informatics and Mathematical Modelling, KSC RAS

INFORMATION TECHNOLOGY FOR ACCOUNTING NEARBY AREA RELIEF WHEN SOLVING TASKS OF ASSESSING INDUSTRIAL AND NATURAL HAZARDS AND RISKS

Abstract

At the moment, level of development of GIS technologies is such that it is possible to implement a model of emergence and development of emergencies using a single geographic information system, while having ability to use many functions embedded in the system, and accessing spatial data through an API interface. This paper gives an example of creating a three-dimensional model of an accident using QGIS tools, illustrating the capabilities of this GIS for solving emergency control tasks.

Keywords:

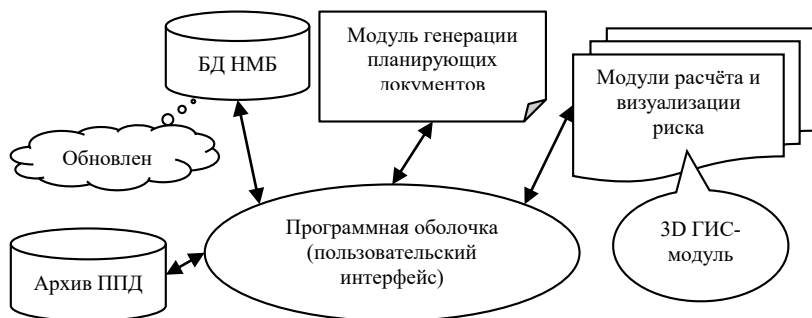
GIS, 3D-modeling, emergency.

Использование геоинформационных технологий для моделирования опасностей и рисков охватывает достаточно широкий круг теоретических вопросов и практических приложений. Чтобы ограничить рамки исследования, в настоящей работе трёхмерное моделирование будет рассматриваться как развитие спроектированной ранее информационно-аналитической системы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема НИР № 0226-2019-0035), а также при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-00167-а).

ситуаций техногенного и природного характера (ИАС ПБЧС). Структура и функции ИАС ПБЧС описаны в [1, 2].

Разработка и использование пространственных моделей промышленно-природных опасностей обусловлены стремлением повысить точность и наглядность результатов. Целесообразность привлечения таких моделей определяется балансом между возможным «выигрышем» и «затратами» на их создание и/или эксплуатацию. Для создания и работы с пространственными моделями предлагается использовать существующие геоинформационные системы. Предлагается модифицировать структуру ИАС ПБЧС, дополнив систему функцией пространственного моделирования (см. рис. 1).



ППД – пользовательская планирующая документация
 БД НМБ – база данных нормативно-методической документации
 3D ГИС-модуль – модуль трёхмерного моделирования, использующий ГИС-технологии

Рис. 1. Модифицированная архитектура системы

Работу 3D-модуля ГИС для рассматриваемого в статье примера можно схематично изобразить следующим образом – см. рис. 2.

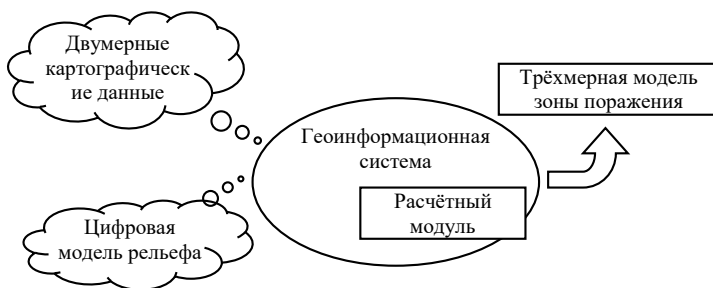


Рис. 2. Схема работы 3D ГИС-модуля

Анализ отечественных работ показывает, что использование трёхмерной геоинформации при моделировании чрезвычайных ситуаций (ЧС) является актуальным. Однако в исследованиях прослеживается разнородность

используемых технологий: для анализа пространственной информации используются одни программные средства, для построения изображения – другие, расчётные модели реализуются в виде отдельных программ. В результате трёхмерная модель развития ЧС является результатом работы комплекса программ, что создаёт неудобства при модификациях модели и обновлениях используемых программных продуктов.

При этом современные ГИС позволяют всё реализовать в рамках единой платформы. Например, открытая ГИС QGIS имеет как средства построения трёхмерных изображений, так и возможности создания дополнительных модулей к системе.

Иными словами, в настоящий момент уровень развития ГИС-технологий таков, что реализовать модель возникновения и развития ЧС можно средствами единой геоинформационной системы, имея при этом возможность использовать множество функций, заложенных в систему, и обращаясь к пространственным данным через API-интерфейс. В данной работе даётся пример создания трёхмерной модели аварии средствами QGIS, иллюстрирующий возможности этой ГИС для решения задач борьбы с ЧС.

Литература

1. Шемякин А.С., Яковлев С.Ю., Олейник Ю.А., Маслобоев А.В. Автоматизация разработки планирующей документации по снижению промышленно-экологических рисков // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9. С. 74-85. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-9-74-85.
2. Yakovlev S., Putilov V., Masloboev A. Information and analytical support for the industrial and ecological safety management of Arctic communications // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 302 4th International Scientific conference Arctic: History and Modernity 17-18 April 2019, Saint Petersburg, Russian Federation. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012032.

