



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

5/2021 (12)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 12

Апатиты
2021

0+

Российская Академия Наук

0+

5/2021(12)

издается с декабря 2010 г.

УДК 004.9

ISSN 2307-5252

ТРУДЫ

Кольского научного центра

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

выпуск 12

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

Ответственный редактор выпуска:

к. т. н. И. О. Датьев

Научное издание

Редактор Ю. Н. Еремеева

Технический редактор В. Ю. Жиганов

Подписано в печать 10.12.2021.

Дата выхода в свет 27.12.2021.

Формат бумаги 70×108 1/16.

Усл. печ. л. 16,28. Заказ № 44. Тираж 500 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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Шишаев М.Г. Двухэтапная технология выделения значимых понятий из текстов, основанная на тематическом моделировании и анализе контекста.....	10
Ломов П.А. Аугментация обучающего набора при обучении нейросетевой языковой модели для наполнения онтологии.....	22
Вицентий А.В. Технология извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем.....	35
Шишаев М.Г.	
Пилецкий Б.М. Распознавание пространственных данных из естественно языковых текстов с целью визуализации.....	50
Сулейманов Д.Ш. Системный анализ задачи моделирования естественного языка.....	57
Фридман А.Я.	
Гильмуллин Р.А.	
Кулик Б.А.	
Смирнов А.В. Интеллектуальная поддержка принятия социально-ориентированных оперативных решений при госпитализации с учетом ограниченных ресурсов и поведения людей.....	67
Тесля Н.Н.	
Молл Е.Г.	
Михайлов С.А.	
Левашова Т.В.	
Зуенко А.А. Подход к поиску глобального оптимума в задачах Constrained Clustering с привлечением оценок нескольких экспертов...	75
Фридман О.В.	
Зуенко О.Н.	
Фридман О.В. Data Mining – методы и алгоритмы, краткий обзор.....	91
Халиуллина Д.Н. Жизнеспособность критических инфраструктур региональной безопасности.....	104
Быстров В.В.	

**ТРУДЫ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 12

Малыгина С.Н.	Разработка имитационной модели кадровой	
Неупокоева Е.О.	логистики производственного кластера.....	117
Олейник А.Г.	Организация хранения «открытых» наборов	
	атрибутов сущностей в реляционных базах	
	данных.....	128
Фридман А.Я.	Интернет моделей вещей для ситуационного	
	анализа и прогнозирования зависимых	
	отказов.....	140
Яковлев С.Ю.	Нормативно-правовые основы управления	
Шемякин А.С.	развитием Северного морского пути.....	148

Теория и практика системной динамики

Путилов В.А.	Методологическая база информационной	
Маслобоев А.В.	поддержки управления безопасностью	
Быстров В.В.	региональных критических инфраструктур.....	157
Зуенко А.А.	Планирование положений рабочего борта	
Олейник Ю.А.	карьера по периодам отработки в рамках	
Македонов Р.А.	парадигмы программирования в ограничениях	161
Ломов П.А.	Технология обучения нейросетевой модели	
Малоземова М.Л.	для пополнения онтологии.....	166
Кулик Б.А.	Анализ парадоксов в интеллектуальных	
Фридман А.Я.	моделях систем.....	171
Фридман А.Я.	Моделирование сценариев развития	
	промышленно-природных систем.....	177
Шестаков А.В.	Информационная технология анализа рисков	
Шемякин А.С.	для сосудов под давлением.....	183
Яковлев С.Ю.		

Russian Academy of Sciences

0+

5/2021(12)

Published since 2010

UDC 004.9
ISSN 2307-5252

TRANSACTIONS

Kola Science Centre

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

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

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 Council

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. Masloboev, Dr.Sc. (Eng.)

Executive Editor:

I. O. Datyev, PhD (Tech.)

INFORMATION TECHNOLOGIES

series 12

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
Tel.: (81555) 79380. Fax: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

© Institute for Informatics and Mathematical Modeling
KSC RAS, 2021
© Federal Research Centre "Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences", 2021

CONTENTS

	Pages
Shishaev M.G. Two-stage technology of automated terminology Dikovitsky V.V. extraction based on topic modeling and context Lomov P.A. analysis.....	10
Lomov P.A. Training set augmentation in training neural- Malozemova M.L. network language model for ontology population.....	22
Vicentiy A.V. The geoattributed entity extraction technology Shishaev M.G. for visual representation of objects spatial relations based on automated schematic map generation.....	35
Pileckiy B.M. Recognition of spatial data from natural language texts for the purpose of visualization..	50
Suleimanov D.Sh. System analysis of the natural language Fridman A.Ya. modeling problem..... Gilmullin R.A. Kulik B.A.	57
Smirnov A.V. Intellectual support for socially-oriented Teslya N.N. operational decisions making during Moll E.G. hospitalization, taking into account limited Mikhailov S.A. resources and human behavior..... Levashova T.V.	67
Zuenko A.A. An approach to finding a global optimum in Fridman O.V. constrained clustering tasks involving the Zuenko O.N. assessments of several experts.....	75
Fridman O.V. Data Mining - methods and algorithms, summary.....	91
Khaliullina D.N. Resilience of critical infrastructure of regional Bystrov V.V. security.....	104
Malygina S.N. Development of a simulation model of personnel Neupokoeva E.O. logistics of a production cluster.....	117

CONTENTS

	Pages
Oleynik A.G. Storage organization for "open" sets of entity attributes in relational databases.....	128
Fridman A.Ya. Internet of models of things for situational analysis and forecasting dependent failures.....	140
Yakovlev S. Yu. Regulatory and legal framework for managing the development of the Northern Sea Route.....	148

Theory and Practice of System Dynamics

Putilov V.A. Methodological foundations of security management information support of regional critical infrastructures.....	157
Masloboev A.V. Bystrov V.V. Planning of the open-pit working edge positions by the periods of mining within the constraint programming paradigm.....	161
Zuenko A.A. Oleynik Yu.A. Makedonov R.A. Technology of training a neural-network model for ontology population.....	167
Lomov P.A. Malozemova M.L. Analysis of paradoxes in intelligent models of systems.....	171
Fridman A.Ya. Modeling of development scenarios for industrial-natural systems.....	177
Shestakov A.V. Shemyakin A.S. Yakovlev S.Yu. Information technology for risk analysis of pressure vessels.....	183



18 ноября 2021 года ушел из жизни научный руководитель Института информатики и математического моделирования КНЦ РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, доктор технических наук, профессор Путилов Владимир Александрович.

Владимир Александрович возглавлял Институт с момента его основания в 1989 году до 2017 года, когда он перешел с должности директора на должность научного руководителя Института. Под его руководством в Институте сформировалась научная школа по разработке и развитию информационных технологий поддержки управления региональным развитием, которая вошла в 2006г. в список ведущих научных школ Российской Федерации. Основу коллектива Института составляют ученики В.А. Путилова, многие из которых защитили не только кандидатские, но и докторские диссертации.

Благодаря организаторскому таланту и активной жизненной позиции В.А. Путилова в г. Апатиты был создан Кольский филиал Петрозаводского госуниверситета, во многом позволивший обеспечить не только КНЦ РАН, но и регион в целом молодыми специалистами естественно-научного, технического, экономического и гуманитарного профилей. Организованный при этом вузе центр интернет-образования позволил освоить базовые навыки по использованию информационных технологий практически всем работникам образования Мурманской области, а многим заинтересованным жителям региона повысить свою компьютерную грамотность.

Большой вклад В.А. Путилова в развитие науки и образования, его эффективная научно-организационная деятельность отмечены наградами различного уровня. Среди них: Премия Правительства РФ за разработку и создание Сибирского солнечного радиотелескопа; медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени; орден Дружбы.

ВВЕДЕНИЕ

Двенадцатый выпуск серии «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН включает в основном статьи членов научной школы В.А. Путилова по разработке и развитию информационных технологий поддержки управления региональным развитием, которая вошла в 2006г. в список ведущих научных школ Российской Федерации. В начале 1990-х годов «стартовой» идеей научной школы была предложенная ее основателем интеграция функционально-целевого подхода и методов концептуального моделирования. Декларативный характер концептуальных моделей обеспечивал возможность под их управлением комплексно использовать в рамках одной информационной системы различные типы «исполнительных» моделей для решения определенных подзадач. С течением времени развитие этой идеи привело к созданию оригинальных методов моделирования сложных трудноформализуемых систем и процессов, а также теоретических и практических решений в области интеллектуализации средств информационно-аналитической поддержки принятия решений на разных уровнях управления.

Одним из основных элементов многих современных систем поддержки принятия решений является база знаний - формальная концептуальная модель предметной области, реализуемая в виде онтологии. В статьях настоящего выпуска предлагаются новые решения задач автоматизированного формирования и пополнения онтологий на основе семантического анализа текстов на естественном языке. Интеграция нейросетевого подхода, подходов на основе правил и использования лексико-семантических шаблонов для анализа естественно языковых текстов также легла в основу технологии извлечения геоатрибутированных сущностей для автоматизированной генерации картосхем. Расширяется спектр задач, решаемых на основе методов удовлетворения ограничений. Традиционными направлениями исследований остается создание инструментов имитационного моделирования и развитие методов работы с данными. В обзорных статьях рассмотрены методы и инструменты Data Mining, публикации, касающиеся жизнеспособности критических инфраструктур и нормативной базы управления развитием Северного морского пути.

В виде тезисов в выпуск включена часть работ, представленных на IX Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика системной динамики», которая проходила на базе ИИММ КНЦ РАН с 30 марта по 6 апреля 2021 года. Традиционно тематика данной конференции касалась не только системной динамики, но и методов и моделей исследования динамики систем в широком смысле.

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.

The twelfth issue of the "Information Technologies" series of Transactions of the Kola Scientific Center includes mainly articles by members of the V.A. Putilov scientific school on the of information technologies designing and development for support of the regional management. This school was included in the list of the leading scientific schools of the Russian Federation in 2006. The integration of the functional-goal approach and the conceptual modeling methods was proposed as the “starting” idea of the scientific school by its founder in the early 1990s. The declarative nature of conceptual models made it possible to jointly use under their control in a single information system various types of "executive" models to solve certain subtasks. Over time, the development of this idea led to the creation of original methods for modeling complex systems and processes that are difficult to formalize, as well as theoretical and practical solutions in the field of intellectualization of information and analytical decision support tools at different levels of management.

The knowledge base - a formal conceptual model of the domain, implemented in the form of an ontology is a one of the main elements of many modern decision support systems. New solutions for the problems of the automated creation and enhancement of ontologies based on the semantic analysis of text in a natural language are presented in the articles of this issue. The integration of the neural network approach, approaches on rule-based and the use of lexical-semantic templates for the analysis of natural language texts also formed the basis for the technology of extracting geo-attributed entities for the automated generation of schematic maps. The range of tasks solved on the basis of constraint satisfaction methods is expanding. The traditional areas of research remain the creation of simulation tools and the development of methods for working with data. Data Mining methods and tools, publications concerning the viability of critical infrastructures and the regulatory framework for managing the development of the Northern Sea Route are discussed in review articles.

Some of the works presented at the IX All-Russian Scientific and Practical Conference "Theory and Practice of System Dynamics" are included in the issue in the form of short papers. The conference was held on the basis of the IIMM KSC RAS from March 30 to April 6, 2021. Traditionally, the topics of this conference concerned not only system dynamics, but also methods and models for research the dynamics of systems in a broad sense.

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.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 10–21.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 10–21.

Научная статья
УДК 004.8
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.001

ДВУХЭТАПНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ ПОНЯТИЙ ИЗ ТЕКСТОВ, ОСНОВАННАЯ НА ТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ КОНТЕКСТА*

Максим Геннадьевич Шишаев^{1✉}, **Владимир Витальевич Диковицкий**², **Павел Андреевич Ломов**³

^{1, 2, 3} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *shishaev@iimm.ru*[✉], <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

² *dikovitsky@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-0329-9979>

³ *lomov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

Аннотация

В работе рассматривается задача автоматизированного извлечения значимых понятий предметной области из текстов на естественном языке. Предложена двухэтапная технология ее решения, основанная на моделировании тематики и анализе контекста употребления лексических единиц. Представлены результаты экспериментальной проверки технологии и перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова:

семантический анализ текста, выделение понятий, машинное обучение, моделирование тематики, анализ контекста

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036. При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-07-00754 А.

Для цитирования: Шишаев М. Г., Диковицкий В. В., Ломов П. А. Двухэтапная технология выделения значимых понятий из текстов, основанная на тематическом моделировании и анализе контекста // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 10–21. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.001>.

Original article

TWO-STAGE TECHNOLOGY OF AUTOMATED TERMINOLOGY EXTRACTION BASED ON TOPIC MODELING AND CONTEXT ANALYSIS

Maksim G. Shishaev^{1✉}, **Vladimir V. Dikovitsky**², **Pavel A. Lomov**³

^{1, 2, 3} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *shishaev@iimm.ru*[✉], <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

² *dikovitsky@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-0329-9979>

³ *lomov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

Abstract

The paper deals with the task of automated terminology extraction. A two-stage technology for its solution is proposed, based on topic modeling and analyzing the context of the use of lexical units. The results of experimental verification of the technology and the prospects for its further development are presented.

Keywords:

semantic text analysis, terminology extracting, machine learning, topic modeling, context analysis

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036. The study was funded by RFBR, project number 20-07-00754 A.

For citation: Shishaev M.G., Dikovitsky V.V., Lomov P.A. Two-stage technology of automated terminology extraction based on topic modeling and context analysis // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 10–21. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.001>.

Введение: краткая характеристика задачи «terminology extraction» и общее описание технологии

Выделение значимых понятий (терминов¹) является одной из первоочередных задач семантического анализа текста, ориентированного на автоматизированное формирование предметных (проблемно-ориентированных) моделей знаний (онтологий). В теоретико-модельной интерпретации это – задача построения сигнатуры модели [1], где понятия представлены множеством непредикатных символов. В лингвистике, выделение понятий можно рассматривать как часть более общей задачи определения семантических ролей лексических единиц (Semantic Role Labeling).

Задача автоматизированного выделения понятий из текстов (terminology extraction, automatic term recognition) исследуется довольно давно, ключевые работы в этой области появились еще в конце прошлого века (см., например [2] [3]). Подходы к решению задачи, в зависимости от характера используемых признаков лексических конструкций, принято разделять на лингвистические и статистические, на практике также применяются смешанные подходы [4] [5]. Для выделения понятий используют как методы машинного обучения с учителем, основанные на размеченных данных, так и обучение без учителя. Вторые являются более предпочтительными, но в общем случае уступают по эффективности (скорости и точности работы) методам, использующим размеченные данные. Создание методов извлечения терминов с помощью моделей обучения без учителя относится к актуальной современной проблематике. Например, в [6] авторы предлагают технологию извлечения понятий без учителя, при этом рассматривают контекст употребления понятия в терминах POS, это дает возможность сделать модель (выявляющую понятия), универсальную для разных предметных областей.

В целом, для выделения значимых понятий нужно ответить на два ключевых вопроса: 1) какая языковая конструкция (слово или словосочетание) обозначает понятие и 2) относится ли данное понятие к значимым в контексте рассматриваемой предметной области. В рамках второй задачи также приходится решать проблему разделения специфичных (предметных) и общеупотребимых понятий.

Как правило, ответ на первый вопрос ищется путем решения задачи выделения именных групп (noun phrases), в том числе – вырожденных, состоящих из одного слова. Для этого имеется достаточно хорошо проработанный арсенал методов, основанных на лексическом и синтаксическом анализе текста. Одним из подходов, основанном на построении дерева зависимостей, (в том числе, использованном в данной работе) является использование нейросетевых синтаксических анализаторов. В данной работе использовался анализатор SyntaxNet [7].

В работе [8] предложен теоретико-модельный подход к выделению понятий, в рамках которого каждое предложение подвергается разбору и интерпретируется как атомарная диаграмма целевой модели. Формирование сигнатуры модели (в том числе – констант) происходит по эвристическим правилам с учетом номинализации существительных.

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 [9]. Наиболее известными проектами, предлагающими такие библиотеки, являются PropBank [10] и FrameNet [11]. В первом проекте семантическими ролями аннотируются отдельные слова, во втором – более сложные конструкции – семантические фреймы [12].

Как правило, в рассмотренных подходах в итоговую модель потенциально попадают все термины, упоминаемые в тексте, без учета их значимости в контексте рассматриваемой предметной области, что приводит к «замусориванию» целевой онтологической модели. Поэтому становится актуальным второй упомянутый выше вопрос. Ответ на него гораздо менее однозначен и зависит от используемого понимания значимости понятия. При этом, в практических целях необходимо не только достаточно точное понимание, но и подходящее для использования в автоматизированных вычислительных процедурах - операционное определение (operational definition) понятия «термин». Единого способа определения, судя по всему, не существует; так или иначе, идентификация значимости основывается на статистических свойствах слов-претендентов, способ расчета которых зависит от задачи [3]. Если важны репрезентативные свойства термина (насколько он значим для отражения темы документа), то расчет ведется без учета встречаемости во всей коллекции; если же важны дискриминативные свойства (насколько значим данный термин для выделения некоторой группы документов, например по некоторой одной предметной области, среди всей коллекции), то значимость термина определяется соотношением его статистических свойств внутри и за пределами группы (см., например, [13]).

В данной работе критерием значимости понятия полагается активность его использования в описании прикладных задач, характерных для рассматриваемой предметной области. Например, можно предполагать, что в контексте рассмотрения арктических транспортно-логистических систем, понятие «ледовая обстановка» будет значимым, а понятие «литературная проза об Арктике» - нет. В то же время, «ледовая обстановка», значимая для арктической логистики – не значима в контексте рассмотрения экваториальных судоходных маршрутов.

Одним из довольно простых и очевидных подходов к определению значимости понятия является использование статистических признаков, характеризующих частоту использования понятия в некотором наборе текстов [14]. Недостатком такого подхода является то, что точность (и корректность) оценки значимости зависит от объема анализируемого текста. Для получения хорошего результата необходимо располагать качественными (в смысле

максимально возможной тематической сфокусированности на рассматриваемой предметной области) предметными текстами больших объемов. Кроме того, возникает проблема дифференциации общеупотребимых и предметных (специальных) понятий.

Данная проблема также находится в фокусе внимания современных исследователей и разработчиков. Например, в работе [13] предлагается техника предсказания уровня предметности (technicality) терминов, извлекаемых из текстов, основанная на формировании и сравнении векторных представлений лексических единиц в тематическом (предметном) пространстве и в пространстве общеупотребимой лексики.

В данной работе предлагается технология идентификации в тексте понятий, значимых в контексте некоторой предметной области, основанная на моделях машинного обучения (конкретно – на искусственных нейронных сетях). Технология предполагает двухэтапный процесс выделения значимых понятий, описанный в следующем разделе. Реализуемый в рамках технологии подход к решению поставленной задачи позволяет фокусироваться только на значимых понятиях предметной области и использовать при этом, в том числе, короткие предметные тексты произвольной тематики.

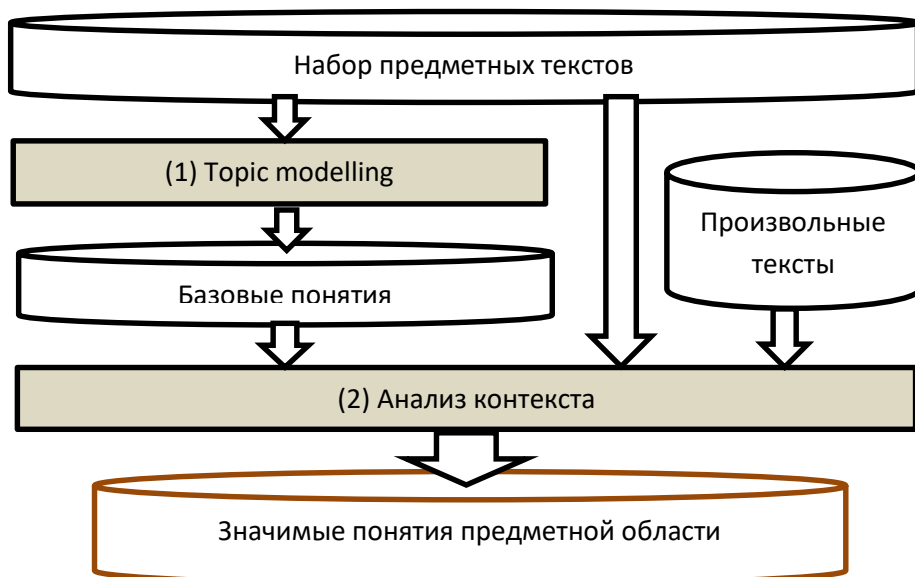


Рис. 1. Общая схема технологии выделения понятий

На первом этапе осуществляется формирование базового набора значимых понятий предметной области. При этом главная задача - обеспечить максимально возможную точность идентификации значимых понятий, полнота и размер итогового набора - второстепенны. Для этих целей формируется набор текстов, соответствующих тематике предметной области, который подвергается анализу с помощью специализированного метода моделирования тематики (Topic modeling), основанного на кластеризации и анализе статистических свойств и дистрибутивной семантики текста. Результирующее множество ключевых тем,

получаемое на данном этапе, соответствует базовому набору понятий, априори значимых в рамках рассматриваемой предметной области.

На втором этапе осуществляется пополнение состава значимых понятий с помощью анализа контекста. Используемый при этом подход основан на простом предположении, что если некоторое априори значимое понятие $w1$ используется в некотором контексте $c(w1)$ и имеется понятие $w2$, используемое в схожем контексте, т.е. $c(w2) \approx c(w1)$, то понятие $w2$ также значимо в рамках рассматриваемой предметной области. В качестве «стартовых» понятий используются элементы множества ключевых тем (topics), выявленные на первом этапе.

За счет такого подхода потенциально удастся решить ряд проблем:

- Избежать замусоривания онтологии малозначимыми или общеупотребимыми понятиями
- Обеспечить включение в понятийную базу редко-используемых, синонимичных терминов произвольной длины, в том числе – жаргонизмов и слов общеупотребимой лексики, используемых в контексте некоторой предметной области как понятие.
- Обеспечить возможность анализа в том числе коротких текстов произвольной тематики.

1. Технология выделения базовых значимых понятий на основе Topic modeling

В данной работе тематическое моделирование используется в постановке задачи, отличной от классической, поскольку целью является не идентификация тематики документов или их классификация в соответствии с заданным набором тем, а выявление значимых понятий, которыми оперирует автор документа. Список значимых понятий формируется в результате анализа текстов дистрибутивными и синтаксическими методами анализа в два этапа. На первом определяются частотные и синтаксические характеристики слов, выявление словосочетаний в рассматриваемой коллекции. На данном этапе отсекаются общеупотребительные слова. Для этого используются частотные характеристики слов - TF-IDF мера, а также синтаксический анализ для определения части речи. Для определения понятий, выраженных биграммами, используется отфильтрованная разреженная матрица $n \times m$ (n = количество документов коллекции, m = количество уникальных слов и пар слов в корпусе), полученная на коллекции. Дистрибутивные методы позволяют удалить семантически незагруженные слова и идентифицировать устойчивые словосочетания.

На втором этапе учитывается статистика совместного использования значимых понятий. Для этого формируется векторная модель Word2Vec предварительно очищенного корпуса тематических текстов: вследствие малого размера корпуса (относительно размера корпусов, используемых для обучения векторных представлений текстов общей лексики) из него удаляются слова, частотно определенные как незначимые, а также объединяются в одно понятие устойчивые словосочетания. Модель Word2Vec используется для оценки контекстной близости слов, чтобы определить фраземы, коннотации и контекст использования понятий. Для определения значимых понятий применяется кластеризация пространства Word2Vec алгоритмом k-средних. В качестве индикатора контекстной близости используется косинусная близость между

векторами слов. Похожий подход реализован в библиотеке Top2Vec [15], где одним из критериев идентификации темы является равноудаленность от других тем.

В результате, в кластер попадают схожие по смыслу (в контексте рассматриваемой коллекции текстов) термины. В предположении что кластер задает некоторый класс понятий, центр кластера будет соответствовать предполагаемому значимому термину, наиболее точно обозначающему класс. Тогда, сравнивая контексты полученного «эталонного» понятия и понятий-кандидатов (на 2 этапе) мы сможем отыскать в тексте другие экземпляры данного класса, также являющиеся значимыми понятиями предметной области.

Способ формирования словаря Word2Vec

Для формирования словаря Word2Vec исходный набор текстов подвергся лемматизации, удалению стоп слов, морфологической фильтрации (оставлены только существительные и связанные с ним качественные прилагательные). Устойчивые словосочетания сохранены как одно слово. Далее на полученном наборе произведено построение модели Word2Vec. размер словаря модели составил 13597 слов, применен алгоритм CBOW, размерность пространства 200.

На рисунке 2 представлено двухмерное представление модели Word2Vec, полученное с помощью алгоритма t-SNE. T-SNE использовался для построения подмножества похожих слов из обученной модели Word2Vec. Во-первых, были найдены схожие слова и каждое из похожих слов было добавлено к матрице. Во-вторых, t-SNE был применен к матрице для проецирования каждого слова в двумерное пространство (т.е. уменьшения размерности). На первом (рис.2a) изображении представлен фрагмент модели Word2Vec (кластера слов «исследования», «этнография», «добыча») построенный без частотного и морфологического фильтра. На втором (рис.2b) - после применения описанных преобразований набора (кластера слов «закон», «этнография», «Арктика», «освоение», «безопасность», «наука»).

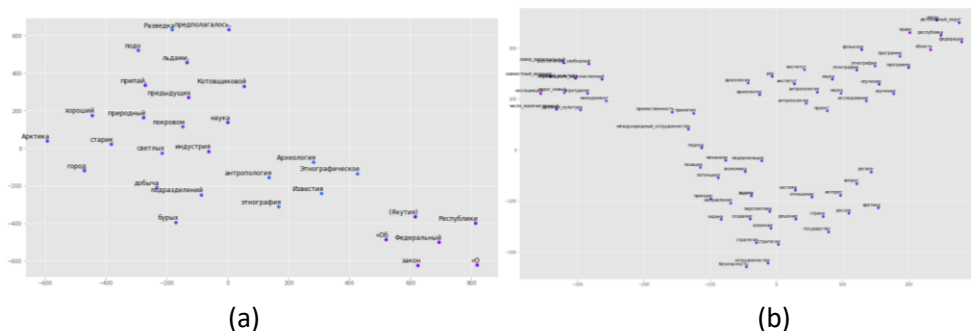


Рис.2. Двумерная визуализация пространства Word2Vec до (a) и после (b) преобразований

Затем к полученной модели применялась кластеризация с использованием алгоритма k-средних. Было получено 100 кластеров, состоящих из смежных тем. В качестве критерия использовалось косинусное расстояние, в 5 проходов с наличием пустого кластера. Словарь для составления списка значимых тем был

сформирован на основе словаря W2V путем ограничения по частоте встречаемости слова или словосочетания и ограничен 2000 слов. Топ 20 тем: *народ, год, культура, север, человек, язык, малочисленный_народ, развитие, Арктика, Россия, район, шаман, регион, мир, территория, жизнь, население, работа, деятельность, время*. Для определения значимого термина, наиболее точно обозначающего тему, использовался алгоритм усреднения векторных представлений слов кластера, встроенный в библиотеку Word2Vec.

2. Технология идентификации значимых понятий предметной области на основе анализа контекста

Применение данной технологии на втором этапе предполагает предварительное обучение используемой в рамках нее языковой модели, которая далее применяется для выявления значимых понятий на основе анализа контекстов. Обучение языковой модели осуществляется на основе обучающей выборки, которая автоматически формируется путем поиска в наборе текстов предметной области предложений, содержащих отдельные лексемы и именные группы, соответствующие понятиям из базового набора, сформированного на первом этапе.

Основной принцип генерации образцов обучающей выборки состоит в анализе предложений текстов предметной области с целью выявления тех предложений, которые содержат понятия базового набора. В результате анализа для каждого такого предложения создается метка, определяющее содержащееся в предложении понятие и границы его положения. Например, для предложения *«Альтернативный путь через Санкт-Петербург вокруг Скандинавии решает проблему со вместимостью судна (можно сразу взять большую партию), но возникают сложности с таможенным сопровождением, а также увеличивается транзитное время и растет бюджет доставки.»*, содержащего понятие *«Санкт-Петербург»* создается метка вида (26, 41, “СІТУ”).

Реализация данного принципа может потребовать существенное количество времени так как для каждого понятия базового набора требуется перебрать все предложения текста. Для оптимизации временных затрат на этапе подготовки корпуса для каждого текста формируется хэшированный набор входящих в него лексем. При этом каждая лексема приводится к нормальной форме. Это позволяет перед выполнением процедуры поиска предложений текста, содержащих понятие из базового набора, быстро проверить факт наличия в нем соответствующей понятию лексемы и лишь в случае успеха осуществлять последующий перебор его предложений. С целью оптимизации также выполняется сегментирование текстового корпуса с последующей параллельной обработкой нескольких секций.

Основной проблемой при таком способе формирования обучающей выборки стало определение границ понятий, состоящих из нескольких лексем. В таком случае в предложениях лексемы одного понятия могли быть представлены частично и/или не следовать в порядке, заданном понятием, а перемежаться с другими лексемами предложения. На данном этапе развития технологии рассматриваются понятия, состоящие из одной или двух лексем, следующих друг за другом, при этом границы устанавливаются по первому и последнему вхождению лексем понятия в предложение. Для дальнейшего совершенствования определения границ их поиск был вынесен в отдельный подпроцесс.

После формирования обучающей выборки на ее основе производится обучение языковой модели. В качестве последней выступает языковая модель на основе сверточной нейронной сети из распространенной Python-библиотеки для анализа естественно-языковых текстов SpaCy [16]. Результативность использования данной технологии определяется качеством обученной модели, на которое влияет объем обучающей выборки, а также разнообразие и правильность разметки ее образцов.

После обучения модели она применяется в рамках 2 этапа - для обнаружения в текстах предметной области новых понятий, которые встречаются в контекстах, сходных с контекстами употребления понятий базового набора. Обнаруженные таким образом понятия предъявляются эксперту в качестве кандидатов для пополнения набора важных понятий.

Экспериментальная оценка технологии

В рамках проверки эффективности предложенной технологии было проведено обучение с помощью обучающей выборки, сформированной на основе набора из 157 текстов. Данные тексты были собраны из открытых интернет-сайтов пространственно-логистической тематики. В результате их анализа был получен обучающий набор, содержащий около 97 000 размеченных предложений. Наряду с обучающим набором, был также сформирован тестовый набор, представляющий эталонный результат извлечения важных понятий. Его создание производилось вручную экспертом на основе текстов, не использованных на этапе обучения.

В ходе проверки эффективности оценивалась способность модели обнаруживать, как исходные значимые понятия из базового набора, так и новые понятия, используемые в сходных с исходными контекстах. В качестве ориентира в эксперименте также оценивалась мультязычная модель из фреймворка SpaCy, предназначенная для извлечения именованных сущностей (персон, локаций, организаций) из текстов общей тематики.

Эксперимент 1. Обнаружение моделью исходных значимых понятий в тестовом наборе:

- обученная модель: точность = 0.88, полнота = 0.15.
- мультязычная модель: точность = 0.104, полнота = 0.077

Эксперимент 2. Обнаружение моделью новых важных понятий, использованных в схожих контекстах:

- обученная модель: точность = 0.067, полнота = 0.3.
- мультязычная модель: точность = 0.08, полнота = 0.3

Из результатов первого эксперимента можно видеть, что модель лучше справилась с извлечением специфических понятий, чем мультязычная. Тем самым, можно отметить некоторый позитивный эффект обучения. Низкий результат по полноте вероятно вызван небольшим размером сформированной обучающей выборки. Второй эксперимент показал отсутствие какой-либо результативности в отношении извлечения новых понятий. Это является закономерным следствием низких результатов первого эксперимента, так как модель потенциально может выявлять новые понятия в известных контекстах лишь в том случае, когда сможет обучиться

распознаванию данных контекстов. Однако результаты первого эксперимента указывают, что этого добиться не удалось.

Отсутствие результатов во втором эксперименте также связано с тем, что исходная гипотеза о наличии новых понятий в одних контекстах с исходными понятиями будет работать в том случае, если исходные понятия будут связаны с некоторыми “категориями”. При этом анализируемые тексты должны содержать понятия, соответствующие этим “категориям”. Например, таким понятием, относящимся к “категории”, может быть некоторый тип транспортного средства. В этом случае, если тексты будут включать описания транспортных средств, то можно предположить, что гипотеза будет срабатывать чаще. Отсюда также можно сделать вывод о том, что необходимо определить и другие виды гипотез, позволяющих определять контексты новых понятий на основе имеющихся. Это позволит потенциально увеличить размер и вариативность (частота встречаемости термина) обучающей выборки за счет извлечения большего числа предложений из анализируемых текстов.

Таким образом, в рамках следующего этапа исследования планируется увеличить размер текстового корпуса, а также дополнить процедуру формирования обучающей выборки реализацией новых гипотез обнаружения контекстов новых понятий.

Заключение

Задача автоматизированного извлечения значимых понятий предметной области из текстов на естественном языке, несмотря на актуальность и уделяемое большое внимание, остается не до конца решенной. Основными проблемами являются создание эффективных методов ее решения, основанных на обучении без учителя, дифференциация значимых и общеупотребимых понятий, выделение редко используемых понятий, возможность извлечения значимых предметных понятий из коротких текстов произвольной тематики.

В данной работе предложена двухэтапная технология извлечения предметных понятий, основанная на специальных (основанных на моделях машинного обучения) алгоритмах тематического моделирования и анализа контекста, имеющая потенциал к решению вышеназванных проблем. На данном этапе работ проведена экспериментальная проверка работоспособности технологии и определены перспективы ее дальнейшей разработки.

Примечания

* Адаптированный перевод статьи: Shishaev M.G. Concept and Preliminary Testing of the Two-Stage Technology of Terminology Extraction on the Basis of Topic Modeling and Context Analysis / M.G. Shishaev, V.V. Dikovitsky, P.A. Lomov // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems: Lecture Notes in Networks and Systems / ed. R. Silhavy. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 636-644

¹ В контексте данной статьи мы не будем делать различия между словами «термин» и «понятие», имея в виду под «термином» лексическое обозначение понятия предметной области. Строго говоря, здесь и далее речь идет о выявлении именно лексических единиц, соответствующих понятиям предметной области, то есть сигнификатов.

Список литературы

1. Корсун И.А. Теоретико-модельные методы извлечения знаний о смысле понятий из текстов естественного языка / Корсун И.А., Пальчунов Д.Е. // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2016. – Т. 14. – № 3. – С. 34-48.
2. Frantzi K.T. The C-Value/NC-Value Method of Automatic Recognition for Multi-Word Terms / K.T. Frantzi, S. Ananiadou, J. Tsujii // Proceedings of the Second European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries : ECDL '98. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. – С. 585-604.
3. Kageura K. Methods of Automatic Term Recognition: A Review / K. Kageura, B. Umino // Terminology. – 1996. – Т. 3. – № 2. – С. 259-289.
4. Pazienza M.T. Terminology extraction: an analysis of linguistic and statistical approaches / M.T. Pazienza, M. Pennacchiotti, F.M. Zanzotto // Knowledge mining. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. – С. 255-279.
5. Astrakhantsev N.A. Methods for automatic term recognition in domain-specific text collections: A survey / N.A. Astrakhantsev, D.G. Fedorenko, D.Yu. Turdakov // Programming and Computer Software. – 2015. – Т. 41. – № 6. – С. 336-349.
6. A Unsupervised Method for Terminology Extraction from Scientific Text / W. Shao [и др.] // EEKE@JCDL. – 2020.
7. Weiss D. An Upgrade to SyntaxNet, New Models and a Parsing Competition / D. Weiss, S. Petrov. – 2017.
8. Махасоева О.Г. Автоматизированные методы построения атомарной диаграммы модели по тексту естественного языка / Махасоева О.Г., Пальчунов Д.Е. // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 2. – С. 64-73.
9. Jurafsky D. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. Т. 2 / D. Jurafsky, J. Martin. – 2008.
10. Palmer M. The Proposition Bank: An Annotated Corpus of Semantic Roles / M. Palmer, P. Kingsbury, D. Gildea // Computational Linguistics. – 2005. – Т. 31. – С. 71-106.
11. About FrameNet | fndrupal [Электронный ресурс]. – URL: <https://framenet.icsi.berkeley.edu/fndrupal/about> (дата обращения: 05.12.2020).
12. Boas H.C. From Theory to Practice: Frame Semantics and the Design of FrameNet / H.C. Boas // Semantisches Wissen im Lexikon / ред. S. Langer, D. Schnorbusch. – Tübingen: Narr., 2005.
13. Predicting Degrees of Technicality in Automatic Terminology Extraction / A. Hatty [и др.] // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. – Online: Association for Computational Linguistics, 2020. – С. 2883-2889.
14. Белая Т.И. Выделение ключевых понятий в текстовом содержимом с использованием статистической оценки / Белая Т.И., Пасечник П.А. // Современные проблемы науки и образования (научный журнал). – 2014. – № 3.
15. Angelov D. Top2Vec: Distributed Representations of Topics / D. Angelov // arXiv:2008.09470 [cs, stat]. – 2020. – Top2Vec.
16. SpaCy [Электронный ресурс]. – URL: <https://spacy.io> (дата обращения: 12.01.2021).

References

1. Korsun I.A., Pal'chunov D.E. Teoretiko-model'nye metody izvlecheniya znanij o smysle ponyatij iz tekstov estestvennogo yazyka [Model-theoretic methods for extracting knowledge about the meaning of concepts from natural language texts]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii*. [Novosibirsk State University Bulletin. Series: Information Technology.]. – 2016. – vol. 14. – № 3. – pp. 34-48. (In Russ.).
2. Frantzi K.T. The C-Value/NC-Value Method of Automatic Recognition for Multi-Word Terms / K.T. Frantzi, S. Ananiadou, J. Tsujii // Proceedings of the Second European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries : ECDL '98. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. – C. 585-604.
3. Kageura K. Methods of Automatic Term Recognition: A Review / K. Kageura, B. Umino // Terminology. – 1996. – T. 3. – № 2. – C. 259-289.
4. Pazienza M.T. Terminology extraction: an analysis of linguistic and statistical approaches / M.T. Pazienza, M. Pennacchiotti, F.M. Zanzotto // Knowledge mining. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. – C. 255-279.
5. Astrakhantsev N.A. Methods for automatic term recognition in domain-specific text collections: A survey / N.A. Astrakhantsev, D.G. Fedorenko, D.Yu. Turdakov // Programming and Computer Software. – 2015. – T. 41. – № 6. – C. 336-349.
6. A Unsupervised Method for Terminology Extraction from Scientific Text / W. Shao [et al.] // EEKE@JCDL. – 2020.
7. Weiss D. An Upgrade to SyntaxNet, New Models and a Parsing Competition / D. Weiss, S. Petrov. – 2017.
8. Mahasoeva O.G., Pal'chunov D.E. Avtomatizirovannye metody postroeniya atomarnoj diagrammy modeli po tekstu estestvennogo yazyka [Automated methods for constructing an atomic diagram of a model from a natural language text] // *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii*. [Novosibirsk State University Bulletin. Series: Information Technology.]. – 2014. – vol. 12. – № 2. – pp. 64-73. (In Russ.).
9. Jurafsky D. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. T. 2 / D. Jurafsky, J. Martin. – 2008.
10. Palmer M. The Proposition Bank: An Annotated Corpus of Semantic Roles / M. Palmer, P. Kingsbury, D. Gildea // Computational Linguistics. – 2005. – T. 31. – C. 71-106.
11. About FrameNet | fndrupal. – Available at: <https://framenet.icsi.berkeley.edu/fndrupal/about> (accessed: 05.12.2020).
12. Boas H.C. From Theory to Practice: Frame Semantics and the Design of FrameNet / H.C. Boas // *Semantisches Wissen im Lexikon* / ред. S. Langer, D. Schnorbusch. – Tübingen: Narr., 2005.
13. Predicting Degrees of Technicality in Automatic Terminology Extraction / A. Hatty [и др.] // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. – Online: Association for Computational Linguistics, 2020. – C. 2883-2889.
14. Belaya T.I., Pasechnik P.A. Vydelenie klyuchevyh ponyatij v tekstovom sodержimom s ispol'zovaniem statisticheskoy ocenki [Highlighting key concepts in text content using statistical evaluation]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya (nauchnyj zhurnal)* [Modern problems of science and education (scientific journal)]. – 2014. – № 3. (In Russ.).

15. Angelov D. Top2Vec: Distributed Representations of Topics / D. Angelov // arXiv:2008.09470 [cs, stat]. – 2020. – Top2Vec.
16. SpaCy. Available at: <https://spacy.io> (accessed: 12.01.2021).

Сведения об авторах

М. Г. Шишаев — доктор технических наук, главный научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;
В. В. Диковицкий — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;
П. А. Ломов — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

M. G. Shishaev — Doctor of Science (Tech.), Chief Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;
V. V. Dikovitsky — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;
P. A. Lomov — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.
The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 22–34.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 22–34.

Научная статья
УДК 004.853
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.002

АУГМЕНТАЦИЯ ОБУЧАЮЩЕГО НАБОРА ПРИ ОБУЧЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ОНТОЛОГИИ*

Павел Андреевич Ломов ^{1✉}, **Марина Леонидовна Малоземова** ²

^{1,2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹lomov@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

²malozemova@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

Аннотация

Данная работа является продолжением исследования, ориентированного на решение задачи наполнения онтологии с помощью обучения на автоматически формируемом обучающем наборе и последующего применения нейросетевой языковой модели для анализа текстов с целью обнаружения в них новых понятий для добавления в онтологию. Статья посвящена проблеме автоматического увеличения размера обучающего набора путем аугментации входящих в него образцов. Наряду с этим рассматривается решение проблемы уточнения найденных понятий (корректировка их границ в предложениях), которые были найдены при автоматическом создании обучающего набора. Представлен краткий обзор существующих подходов к аугментации текстовых данных, а также подходов к извлечению вложенных именованных сущностей (nested NER). Предложена процедура уточнения границ обнаруженных понятий обучающего набора и его аугментации для последующего обучения и применения нейросетевой языковой модели с целью выявления новых понятий онтологии в текстах предметной области. Рассмотрены результаты экспериментальной оценки обученной модели на аугментированном наборе и основные направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова:

аугментация данных, нейронная сеть, наполнение онтологий

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036. При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-07-00754 А.

Для цитирования: Ломов П. А., Малоземова М. Л. Аугментация обучающего набора при обучении нейросетевой языковой модели для наполнения онтологии // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 22–34. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.002>.

Original article

TRAINING SET AUGMENTATION IN TRAINING NEURAL-NETWORK LANGUAGE MODEL FOR ONTOLOGY POPULATION

Pavel A. Lomov ^{1✉}, **Marina L. Malozemova** ²

^{1,2,3} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹lomov@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

²malozemova@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

Abstract

This paper is a continuation of the research focused on solving the problem of ontology population using training on an automatically generated training set and the subsequent use of a neural-network language model for analyzing texts in order to discover new concepts to add to the ontology. The article is devoted to the text data augmentation - increasing the size of the training set by modification of its samples. Along with this, a solution to the problem of clarifying concepts (i.e. adjusting their boundaries in sentences), which were found during the automatic formation of the training set, is considered. A brief overview of existing approaches to text data augmentation, as well as approaches to extracting so-called nested named entities (nested NER), is presented. A procedure is proposed for clarifying the boundaries of the discovered concepts of the training set and its augmentation for subsequent training a neural-network language model in order to identify new concepts of ontology in the domain texts. The results of the experimental evaluation of the trained model and the main directions of further research are considered.

Keywords:

data augmentation, neural network, ontology population

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036. The study was funded by RFBR, project number 20-07-00754 A.

For citation: Lomov P. A., Malozemova M. L. Training set augmentation in training neural-network language model for ontology population // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 22–34. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.002>.

Введение

Данная работа является продолжением исследования [1], направленного на автоматическую генерацию обучающего набора на основе анализа текстов предметной области и его использования для обучения нейросетевой модели, ориентированной на решение одной из подзадач обучения онтологий – задачи наполнения онтологии. Упомянутая проблема обучения онтологий заключается в анализе естественно-языковых текстов с последующим извлечением из них концептов и отношений, а также логических выражений (аксиом) с последующим формированием онтологии [2]. Наполнение онтологии предполагает добавление в существующую онтологию новых экземпляров для заданных в ней классов без изменения структуры онтологии.

В предыдущей работе была предложена технология, предполагающая анализ онтологии для формирования списка ее понятий, сбор и анализ текстов, относящихся к предметной области онтологии, с формированием обучающего набора размеченных предложений. Далее данный набор применялся для обучения нейросетевой языковой модели, ориентированной на решение задачи извлечения именованных сущностей (NER). Модель впоследствии применялась для извлечения из текстов новых понятий – кандидатов на добавление в онтологию.

Ввиду того, что в основе предложенной технологии лежит обучение с учителем, необходимо обеспечить достаточно большой объем обучающего набора для успешного обучения. Одним из способов его увеличения является аугментация данных, которая предполагает автоматическое создание новых образцов путем некоторого изменения имеющихся. Это позволяет в некоторой степени повысить эффективность обучения и результативность модели.

В данной работе рассматривается проблема аугментации сгенерированного набора для повышения полноты и точности получаемой на его основе языковой модели в отношении обнаружения в текстах возможных новых элементов онтологии – классов и экземпляров. При этом важно обеспечить

соответствие метки ассоциированному с ней образцу (текстовому предложению), который подвергся изменению в результате аугментации. Так как в состав метки в данном случае входит извлекаемое понятие, представленное в виде своих границ (индексов первого и последнего токенов в предложении), то особую важность представляет правильное определение этих границ для правильного определения модифицируемой части предложения. Данная проблема напоминает проблему извлечения вложенных именованных сущностей (Nested Named Entity Recognition, Nested NER [3]), однако имеет некоторую специфику, обусловленную извлечением понятий для обучения онтологий. Таким образом, в данной работе предлагается после этапа генерации набора выполнять этап, на котором производится уточнение найденных понятий и последующее формирование дополнительных вариаций предложений, в которых они встречаются.

1. Обзор существующих подходов к аугментации данных

Аугментация текстовых данных обучающих наборов заключается в изменении содержания их образцов (обычно текстов или предложений) так, чтобы не был утрачен их смысл. При этом присвоенные образцам метки, как правило, остаются без изменения.

Среди общих видов техник аугментации можно выделить следующие:

- замена слов в предложении [4];
- перестановка слов в предложении или предложений внутри текстов [5];
- «зашумление», то есть добавление незначительных ошибок в слова, предложения или тексты (изменение регистра, знаков препинания и т.п.);
- генерация новых предложений или текстов на основе изменения структуры исходных [6].

Весьма распространенной практикой в последнее время стало использование предобученных на большом объеме текстов моделей с BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) [7] архитектурой. Ключевой особенностью данной архитектуры является возможность рассмотрения в процессе обучения отдельного слова в контексте окружающих его слов. Предобучение BERT-моделей на большом объеме текстов позволяет сформировать контекстуализированные векторные представления слов (contextualized word embeddings) для некоторого естественного языка, которые могут быть использованы в дальнейшем для решения различных NLP-задач, а также для выполнения аугментации.

Так, в работе [8] предлагается алгоритм коррекции слов с ошибками, основанный на использовании маскированной языковой модели (masked language model) на основе BERT. В предложенном алгоритме данная модель используется для представления вариантов замены маскированных ошибочных слов. Аугментация в данном случае выполняется путем конкатенации исходного предложения и его варианта, содержащего маскирующие токены вместо слов с ошибками. По словам авторов, такая аугментация позволяет получать варианты для замены, состоящие из большего или меньшего числа токенов, чем заменяемое слово, а также «отвлечь» модель от ошибочного слова при генерации вариантов его замены.

В работе [9] предлагается метод контекстной аугментации размеченных предложений с помощью условной BERT-модели. Данная модель является результатом настройки исходной BERT-модели с помощью набора данных, дополнительно включающего метки (позитивная/негативная). Это позволяет модели при аугментации предлагать замены маскированным токенам с учетом метки и тем самым обеспечивать правильность получаемых образцов.

В работе [10] предлагается метод аугментации с применением так называемой filtered-BERT модели для решения задачи деидентификации защищенной информации о здоровье (protected health information, PHI) в документах для вторичного использования. Filtered-BERT предсказывает маскированное слово, предоставляя несколько вариантов, и далее производит их фильтрацию путем сравнения косинусного расстояния между fastText-векторами слов-вариантов и заменяемого слова. В итоге аугментированные предложения формируются со словами, прошедшими через данный фильтр.

Упомянутая проблема уточнения границ сущности в предложении похожа на проблему извлечения вложенных сущностей (nested NER). В ранних работах, посвященных ее решению, используются подходы, основанные на правилах. Так, в работе [11], посвященной распознаванию биомедицинских сущностей предлагаются два таких подхода: подход на основе правил постобработки (post-processing) и подход на основе скрытой марковской модели (Hidden Markov Model, НММ). Подход на основе правил постобработки предполагает использование специально разработанных на основе корпуса GENIA паттернов, которые позволяют распознать наиболее длинные имена сущностей на основе более простых (вложенных). Подход на основе НММ, в свою очередь, предполагает использование двух предварительно обученных моделей: первая модель распознает короткие сущности, а вторая – используется для последующего расширения этих распознанных коротких сущностей в длинные.

В работе [3] представлен специализированный парсер для распознавания вложенных именованных сущностей. Данный парсер обучается на предложениях, представленных в виде синтаксических деревьев (parse tree), которые содержат информацию о составляющих (токенах) каждой именованной сущности – «родителя» и «прародителя», а также их части речи.

В недавних работах чаще всего используются подходы с применением нейросетевых моделей для распознавания вложенных сущностей. Например, в работе [12] для решения данной задачи предлагается простая нейросетевая модель. Она позволяет выделить и классифицировать все возможные фрагменты входной последовательности, в которых упоминается потенциальная вложенная сущность. Затем в этих выделенных областях с помощью слоя LSTM обнаруживаются сами сущности.

В следующей работе [13] предлагается нейронная модель для идентификации вложенных сущностей путем наложения друг на друга так называемых «плоских» слоев NER. «Плоский» слой используется для распознавания «плоских» сущностей – противоположность вложенных сущностей. Данный слой, в свою очередь, состоит из слоя LSTM, который захватывает двунаправленное контекстное представление последовательности, и слоя CRF, предсказывающего последовательность меток – теги BIO для этого представления. Количество плоских слоев зависит от уровня вложенности сущности (например, New York – 1 уровень, New York University – 2 уровень).

Процесс обнаружения сущностей прекращается, если текущий плоский слой NER не выявляет никаких сущностей.

В работе [14] предлагается операция регрессии для обнаружения вложенных именованных сущностей в предложении. Для ее выполнения предложение сначала преобразуется с помощью глубокой нейросети в рекуррентные карты признаков (recurrent feature maps), т.е. в абстрактные представления, фиксирующие семантические зависимости между словами. Каждая карта признаков определяет возможные границы сущности. Далее из этих карт признаков генерируются рамки (bounding boxes), которые представляют собой абстрактные представления именованных сущностей. Каждая рамка включает информацию о положении сущности (начальная позиция и длина) и категории класса. В процессе обучения операция регрессии предсказывает значение смещения начальной позиции и значение смещения текущей рамки относительно истинной рамки, соответствующей истинной именованной сущности. Предсказанные смещения позволяют корректно «сдвинуть» рамку, тем самым точно идентифицируя сущность.

В работе [15] предлагается итеративный алгоритм двунаправленного распознавания вложенных именованных сущностей. Он предполагает обучение двух нейросетевых моделей на одном наборе данных для идентификации именованных сущностей в двух направлениях: от общего к конкретному (снаружи внутрь) и от конкретного к общему (изнутри наружу). Каждое слово входной последовательности представляется в виде конкатенации трех векторов: контекстное представление символьной языковой модели, статическое векторное представление (word embedding) и multi-hot вектор закодированных предсказаний для данного слова из предыдущих итераций. На каждой итерации модель генерирует новые прогнозы на основе исходной последовательности слов и ранее сделанных прогнозов. Данный процесс завершается, когда новые сущности больше не выявляются. На выходе прогнозы обеих моделей фильтруются посредством выбранного критерия отбора (например, объединение результатов, пересечение результатов и др.) с последующим формированием окончательного набора обнаруженных сущностей.

В работе [16] предлагается метод декодирования, который итеративно распознает сущности по принципу от самых внешних к внутренним («outside-to-inside» способ). Он позволяет выявить в диапазоне каждой обнаруженной сущности внутренние вложенные сущности, используя алгоритм Витерби [17].

Предлагаемая в данной работе процедура аугментации также предполагает применение предобученной BERT-модели, ориентированной на решение задачи маскированного языкового моделирования (masked language modeling, MLM) [7]. Основное отличие состоит в подготовке маскированного предложения с учетом вероятного переопределения границ сущности, производимого в рамках ее уточнения.

2. Предлагаемая процедура уточнения понятий и аугментации размеченных предложений

Аугментация предполагает некоторое изменение исходного предложения. Однако в данном случае предполагается последующее извлечение сущности для ее добавления в онтологию, поэтому модификация предложения не должна ее

затронуть. Поэтому особую актуальность приобретает правильность определения границ сущности в предложении, то есть определения упорядоченного множества составляющих ее токенов.

Данное обстоятельство заставляет пересмотреть подход к выявлению понятий при формировании обучающего набора, предложенный в предыдущей работе [1]. Он предполагал поиск в текстах предложений, содержащих имена экземпляров классов уже существующих в исходной онтологии. Это позволяло свести задачу ее наполнения к задаче извлечения именованных сущностей (NER).

Однако анализ полученных таким образом размеченных наборов предложений выявил некоторые особенности, которые необходимо учитывать в контексте извлечения именно онтологических концептов. Например, при поиске предложений в корпусе новостных текстов, включающих экземпляр класса «Country» с именем «Russia», помимо предложений, содержащих соответствующий токен, как название страны, были найдены также предложения, включающие комбинации этого токена с другими: «government of Russia», «president of Russia», «company in Russia». Данные комбинации токенов могут быть проинтерпретированы и как классы онтологии («government», «president»), и как экземпляры классов («government of Russia», «president of Russia»). При этом они могут неявно определять некоторое отношение (например, company «is-located-in» Russia) к исходному классу «Country» и/или его экземпляру «Russia», которое также можно добавить в онтологию. Таким образом, идентификация онтологической сущности в предложениях при формировании обучающего набора, в отличие от просто именованных сущностей в задаче NER, имеет смысл осуществлять с учетом некоторого онтологического контекста, описывающего роль исходной сущности в онтологии.

Учет онтологического контекста при формировании обучающего набора, а также возможность его включения в состав меток размеченных предложений, предполагается рассмотреть подробнее в продолжении исследования. В рамках же данной работы для корректной аугментации необходимым является уточнение границ сущностей в предложениях, найденных в текстах предметной области на первом этапе. Для этого был введен дополнительный шаг, предполагающий определение положения исходной сущности в дереве зависимостей (dependency tree) предложения и включения в ее состав токенов, непосредственно связанных с ней синтаксическими отношениями.

Например, предложение «Международный аэропорт Шереметьево является крупнейшим в России.» имеет следующее синтаксическое дерево, как показано на рис. 1.

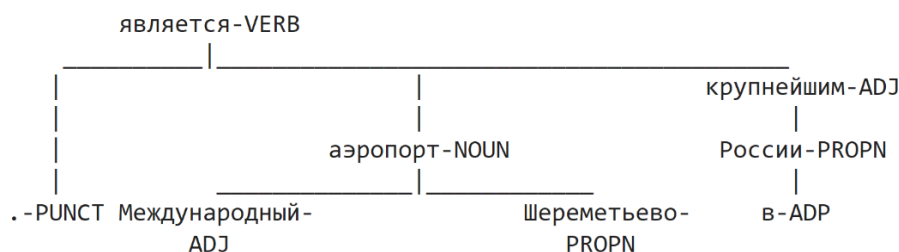


Рис. 1. Схема дерева зависимостей предложения

Согласно данному дереву, сущность онтологии «аэропорт» связана с токенами «Международный» и «Шереметьево». Следовательно, уточненная сущность будет «Международный Аэропорт Шереметьево».

После уточнения сущностей производится аугментация исходного предложения следующим образом:

1. На основе анализа дерева синтаксических зависимостей предложения среди токенов сущности определяется главный токен сущности (он расположен на более высоком уровне дерева, чем дочерние токены).
2. Выявляем ближайшие токены, расположенные слева и справа от токенов сущности и не являющиеся прилагательными, стоп-словами или предлогами. По дереву зависимостей определяем зависимые от них токены. Таким образом, получаем группы ближайших левых и правых токенов.
3. В полученных на 2-ом шаге группах отмечаем главные и дочерние токены как кандидаты на замену.
4. Формируем все комбинации индексов токенов, отмеченных на замену.
5. С использованием сформированных на предыдущем шаге комбинаций индексов создаем модификации исходного предложения, в которых разные комбинации токенов заменены токеном-маской.
6. С помощью предобученной BERT-модели получаем варианты токенов для замены и подставляем их вместо токенов-масок в модификации исходного предложения.
7. Для полученных аугментированных предложений производим переопределение границ онтологической сущности, поскольку замена токенов приводит к их изменению.

Например, рис. 1 показывает, что главный токен понятия «Международный аэропорт Шереметьево» – это «аэропорт». На следующем шаге мы получаем только группу ближайших правых токенов [«является», «крупнейшим»], а группа ближайших левых токенов является пустой, поскольку группа токенов сущности расположена в начале предложения. Эти два токена из группы ближайших правых токенов являются кандидатами на замену. Далее, имея сформированных комбинации индексов этих токенов, мы создаем модификации исходного предложения, где токены «является» и «крупнейшим» заменены токеном-маской:

Международный аэропорт Шереметьево {mask} крупнейшим в России.

Международный аэропорт Шереметьево является {mask} в России.

Используя BERT-модель, мы получили 16 возможных токенов для замены токенов-масок. В итоге, применив некоторые из предложенных токенов, получаем следующие модифицированные предложения:

Международный аэропорт Шереметьево был крупнейшим в России.

Международный аэропорт Шереметьево является крупнейшим в России.

Международный аэропорт Шереметьево является единственным в России.

Международный аэропорт Шереметьево является старейшим в России.

Для получения дерева синтаксических зависимостей была использована русскоязычная модель из фреймворка spaCy [18]. В качестве языковой модели для решения задачи MLM и предложения токенов для подстановки использовалась русскоязычная модель RuBERT из проекта deeppravlov [19].

Для того, чтобы BERT-модель предлагала на замену токены, релевантные предметной области предложения, необходимо избегать замены в предложении

слишком большого числа токенов. По этой причине на 4-ом шаге при генерации комбинаций используются параметры, определяющих одновременное максимально количество заменяемых и удаляемых токенов в комбинации. Им были присвоены значения 4 и 2 соответственно. Наряду с этим, во избежание частых ошибок согласования предлагаемого моделью токена и его окружения (например, несогласование по роду, числу или падежу), не рассматривались комбинации, в которых маскируемые токены располагались друг за другом.

Указанные параметры позволяют варьировать грамматическую и смысловую правильность формируемых предложений и объем получаемого в результате аргументированного набора. Чем больше комбинаций будет рассматриваться, тем больше вариантов будет сгенерировано для каждого исходного предложения. Однако при этом возрастает вероятность наличия в них грамматических и смысловых ошибок.

После завершения представленной процедуры аугментации сформированный набор может быть использован для обучения языковой модели.

3. Оценка эффективности предложенной процедуры аугментации

Для оценки эффекта предлагаемых процедур уточнения понятий и аугментации был проведен эксперимент, в рамках которого были обучены и оценены три модели. Первая модель была получена без применения предложенных процедур аугментации и уточнения понятий, вторая – с применением уточнения понятий, третья – с применением уточнения понятий и аугментации.

Для формирования начального обучающего набора использовался корпус новостных русскоязычных текстов интернет-издания Lenta.ru [20], который содержит около 800 тысяч новостных текстов различной тематики (политика, экономика, спорт и т.д.). В качестве набора понятий онтологии был вручную сформирован исходный список понятий, характерный для новостных текстов (например, «компания», «полиция», «акция» и др.).

В результате анализа текстового корпуса с применением исходного списка понятий был сформирован обучающий набор, включающий около 550 тысяч размеченных образцов – предложений с метками «понятие и ее категория». На данном наборе была обучена первая модель.

Далее к сформированному обучающему набору были применены предложенные процедуры уточнения и аугментации. В результате были получены еще два набора: набор с уточненными понятиями и аугментированный набор с уточненными понятиями. Размер последнего вырос с 550 тысяч до 2800 тысяч образцов. После этого на данных наборах было обучено еще две модели.

Проверка их качества выполнялась на тестовом наборе. Его формирование осуществлялось аналогично формированию обучающего, но при этом использовалась другая часть текстов новостного корпуса. Объем тестового набора составил 300 тысяч образцов.

Оценка качества производилась в рамках следующих экспериментов:

Эксперимент 1. Обнаружение «известных» моделям понятий тестового набора, т.е. тех понятий, которые присутствовали в обучающем наборе:

- модель, обученная без уточнения и аугментации: точность = 0.002, полнота = 0.024;

- модель, обученная с уточнением понятий: точность = 0.056, полнота = 0.694;
- модель, обученная с уточнением и аугментацией: точность = 0.055, полнота = 0.593.

Эксперимент 2. Обнаружение «неизвестных» моделям понятий тестового набора, т.е. понятий, не присутствовавших в обучающем наборе:

- модель, обученная без уточнения и аугментации: точность = 0.0, полнота = 0.01;
- модель, обученная с уточнением понятий: точность = 0.455, полнота = 0.424;
- модель, обученная с уточнением и аугментацией: точность = 0.435, полнота = 0.321.

Отдельно также была произведена экспертная оценка корректности обнаруженных моделями понятий, которых не было в исходном списке (и, соответственно, в тестовом и обучающем наборах). Таким образом, оценивалась доля тех понятий, которые могут быть использованы для наполнения онтологии.

Эксперимент 3. Обнаружение понятий, не представленных в исходном списке понятий:

- модель, обученная без уточнения и аугментации: всего новых понятий – 39, доля корректных понятий – 0,6;
- модель, обученная с уточнением понятий: всего новых понятий – 3566, доля корректных понятий – 0,82;
- модель, обученная с уточнением и аугментацией: всего новых понятий – 3254, доля корректных понятий – 0,85.

Наиболее показательными в отношении оценки эффективности использования полученных моделей для обучения онтологий является второй и третий эксперименты. В них оценивается способность моделей находить новые понятия на основе контекстов, в которых встречались понятия обучающего набора.

Результаты экспериментов показали, что основной вклад в увеличение эффективности привносит процедура уточнения понятий. Вероятно, это вызвано тем, что понятия из исходного списка, представляющие в экспериментах понятия наполняемой онтологии, дополняются при уточнении связанными с ними токенами из предложений анализируемых текстов. Это приводит к тому, что данные токены рассматриваются моделью при обучении как части понятия, а не его контекста. Например, уточнение понятия «аэропорт» до «Международный аэропорт Шереметьево», позволяет модели рассматривать контекст «... является крупнейшим в России», который с большей вероятностью может ассоциироваться с другими понятиями, чем контекст «Международный ... Шереметьево является крупнейшим в России», полученный без уточнения понятия. Таким образом, уточнение понятий позволяет скорректировать их контекст употребления, что положительно сказывается на способности модели находить новые понятия.

Применение аугментации также позволило немного повысить эффективность в отношении точности обнаружения новых понятий в третьем эксперименте. Однако этого удалось достичь после обучения модели на аугментированном наборе размером 2800 тысяч образцов. Такое обучение заняло в 5 раз больше времени, чем обучение на неаугментированном наборе.

Заключение

Обучение онтологий на сегодняшний день продолжает оставаться актуальной проблемой при разработке современных информационных систем, ориентированных на представление и оперирование знаниями предметной области. Использование существующих технологий NLP и машинного обучения имеет большой потенциал в отношении автоматизации связанных с этим задач – от сбора, предобработки и анализа естественно-языковых текстов до формирования начальной структуры понятий онтологии и ее последующего усложнения.

В данной работе рассмотрено расширение предложенной ранее технологии, ориентированной на решение задачи наполнения существующей онтологии новыми экземплярами классов, которые извлекаются из текстов предметной области с помощью обученной нейросетевой языковой модели. В качестве дополнительных шагов предложено при формировании обучающего набора производить уточнение понятий. Это предполагает анализ предложений, содержащих исходное понятие онтологии, и расширение его границ путем включения в него некоторых дополнительных токенов, связанных с ним. Это, с одной стороны, позволило представить понятие онтологии в том виде, в котором оно встречалось в анализируемых текстах, а с другой – скорректировать его контекст, распознавать который обучается модель.

Другим предложенным шагом стало выполнение аугментации предложений, которое предполагало замену некоторых токенов, не входящих в состав уточненного понятия, на вариант, предложенный предобученной языковой моделью-трансформером, способной представлять контекстуализированные векторные представления слов.

В результате экспериментов было установлено, что уточнение понятий положительно сказывается на обнаружении новых понятий в тех контекстах, которые были представлены в предложениях обучающего набора. В дальнейшем планируется само уточнение понятий производить с учетом онтологического контекста, который описывает положение исходного понятия в онтологии. Это позволит проинтерпретировать токены, обнаруженные в ходе уточнения, как еще одно возможное понятие онтологии, которое также следует представить в обучающем наборе. Последнее обстоятельство может потребовать повторения этапа анализа текстов для включения предложений с такими понятиями в обучающий набор.

Кроме того, планируется рассмотреть возможность включения онтологического контекста в метку, что позволит при использовании обученной модели не только обнаруживать понятия, но и указывать их возможное положение в онтологии (подкласс класса, экземпляр класса, носитель свойства, значение свойства и т.д.).

В отношении развития предложенной процедуры аугментации планируется рассмотреть возможность генерации новых образцов (текстовых предложений) путем изменения структуры исходных, то есть заменой/добавлением/удалением их частей (наборов синтаксически связанных токенов). Помимо проблемы определения изменяемой части и генерации заменяющей части, актуальной станет проблема проверки семантической корректности результата. Однако выполнение такой аугментации позволит

улучшить качество обученной модели при использовании аугментированного набора меньшего размера, чем при использовании текущего подхода.

Примечания

* Адаптированный перевод статьи: Lomov P.A. Data Augmentation in Training Neural-Network Language Model for Ontology Population / P.A. Lomov, M.L. Malozemova, M.G. Shishaev // *Data Science and Intelligent Systems: Lecture Notes in Networks and Systems* / ed. R. Silhavy. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – pp. 669-679

Список литературы

1. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Training and application of neural-network language model for ontology population // *Software engineering perspectives in intelligent systems* / под ред. R. Silhavy, P. Silhavy, Z. Prokopova. Cham: Springer International Publishing, 2020. Т. 1295. С. 919–926.
2. Wong W., Liu W., Bennamoun M. Ontology Learning from Text: A Look Back and into the Future // *ACM Comput. Surv. - CSUR*. 2011. Т. 44. С. 1–36.
3. Finkel J. R., Manning C. D. Nested named entity recognition // *Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Volume 1 - Volume 1 EMNLP '09*. USA: Association for Computational Linguistics, 2009. С. 141–150.
4. Wang W. Y., Yang D. That's So Annoying!!!: A Lexical and Frame-Semantic Embedding Based Data Augmentation Approach to Automatic Categorization of Annoying Behaviors using #petpeeve Tweets // *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. Lisbon, Portugal: Association for Computational Linguistics, 2015. С. 2557–2563.
5. Luque F. M. Atalaya at TASS 2019: Data Augmentation and Robust Embeddings for Sentiment Analysis // *ArXiv190911241 Cs*. 2019.
6. Coulombe C. Text Data Augmentation Made Simple By Leveraging NLP Cloud APIs // 2018. С. 33.
7. Devlin J. и др. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // *ArXiv181004805 Cs*. 2018.
8. Sun Y., Jiang H. Contextual Text Denoising with Masked Language Model // *Proceedings of the 5th Workshop on Noisy User-generated Text (W-NUT 2019)*. Hong Kong, China: Association for Computational Linguistics, 2019. С. 286–290.
9. Wu X. и др. Conditional BERT Contextual Augmentation // *Computational Science – ICCS 2019 Lecture Notes in Computer Science*. / под ред. J. M. F. Rodrigues и др. Cham: Springer International Publishing, 2019. С. 84–95.
10. Kang M., Lee K., Lee Y. Filtered BERT: Similarity Filter-Based Augmentation with Bidirectional Transfer Learning for Protected Health Information Prediction in Clinical Documents // *Appl. Sci*. 2021. Т. 11. С. 3668.
11. Zhang J. и др. Enhancing HMM-based biomedical named entity recognition by studying special phenomena // *J. Biomed. Inform.* 2004. Т. 37. № 6. С. 411–422.
12. Sohrab M. G., Miwa M. Deep Exhaustive Model for Nested Named Entity Recognition // *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural*

Language Processing. Brussels, Belgium: Association for Computational Linguistics, 2018. С. 2843–2849.

13. Ju M., Miwa M., Ananiadou S. A Neural Layered Model for Nested Named Entity Recognition // Proceedings of NAACL-HLT 2018. , 2018. С. 1446–1459.
14. Chen Y. и др. A Boundary Regression Model for Nested Named Entity Recognition // ArXiv201114330 Cs. 2020.
15. Dadas S., Protasiewicz J. A Bidirectional Iterative Algorithm for Nested Named Entity Recognition // IEEE Access. 2020. Т. 8. С. 135091–135102.
16. Shibuya T., Hovy E. Nested Named Entity Recognition via Second-best Sequence Learning and Decoding // Trans. Assoc. Comput. Linguist. 2020. Т. 8. С. 605–620.
17. Huang Z. и др. Iterative viterbi A* algorithm for K-best sequential decoding // 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2012 - Proceedings of the Conference, 2012. С. 611–619.
18. Russian spaCy Models Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://spacy.io/models/ru#ru_core_news_sm
19. Pre-trained embeddings – DeepPavlov 0.15.0 documentation [Электронный ресурс]. URL: http://docs.deeppavlov.ai/en/master/features/pretrained_vectors.html#bert
20. News dataset from Lenta.Ru [Электронный ресурс]. URL: <https://kaggle.com/yutkin/corpus-of-russian-news-articles-from-lenta>

References

1. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Training and Application of Neural-Network Language Model for Ontology Population. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds) Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. CoMeSySo 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 1295, Springer, Cham, pp. 919–926.
2. Wong W., Liu W., Bennamoun M. Ontology Learning from Text: A Look Back and into the Future. ACM Comput. Surv, CSUR, 2011, Vol. 44, pp. 1–36.
3. Finkel J. R., Manning C. D. Nested named entity recognition. Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Vol. 1 – Vol. 1 EMNLP '09. USA: Association for Computational Linguistics, 2009, pp. 141–150.
4. Wang W. Y., Yang D. That’s So Annoying!!!: A Lexical and Frame-Semantic Embedding Based Data Augmentation Approach to Automatic Categorization of Annoying Behaviors using #petpeeve Tweets. Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Lisbon, Portugal: Association for Computational Linguistics, 2015, pp. 2557–2563.
5. Luque F. M. Atalaya at TASS 2019: Data Augmentation and Robust Embeddings for Sentiment Analysis. ArXiv190911241 Cs. 2019.
6. Coulombe C. Text Data Augmentation Made Simple By Leveraging NLP Cloud APIs. 2018. pp. 33.
7. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. ArXiv181004805 Cs. 2018.
8. Sun Y., Jiang H. Contextual Text Denoising with Masked Language Model. Proceedings of the 5th Workshop on Noisy User-generated Text (W-NUT 2019). Hong Kong, China: Association for Computational Linguistics, 2019, pp. 286–290.

9. Wu X. et al. Conditional BERT Contextual Augmentation. Computational Science – ICCS 2019 Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing, 2019, pp. 84–95.
10. Kang M., Lee K., Lee Y. Filtered BERT: Similarity Filter-Based Augmentation with Bidirectional Transfer Learning for Protected Health Information Prediction in Clinical Documents. Appl. Sci. 2021, Vol. 11, pp. 3668.
11. Zhang J. et al. Enhancing HMM-based biomedical named entity recognition by studying special phenomena. J. Biomed. Inform. 2004, Vol. 37, No 6, pp. 411–422.
12. Sohrab M. G., Miwa M. Deep Exhaustive Model for Nested Named Entity Recognition. Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Brussels, Belgium: Association for Computational Linguistics, 2018, pp. 2843–2849.
13. Ju M., Miwa M., Ananiadou S. A Neural Layered Model for Nested Named Entity Recognition. Proceedings of NAACL-HLT 2018, 2018, pp. 1446–1459.
14. Chen Y. et al. A Boundary Regression Model for Nested Named Entity Recognition. ArXiv201114330 Cs, 2020.
15. Dadas S., Protasiewicz J. A Bidirectional Iterative Algorithm for Nested Named Entity Recognition. IEEE Access, 2020, Vol. 8, pp. 135091–135102.
16. Shibuya T., Hovy E. Nested Named Entity Recognition via Second-best Sequence Learning and Decoding. Trans. Assoc. Comput. Linguist, 2020. Vol. 8, pp. 605–620.
17. Huang Z. et al. Iterative viterbi A* algorithm for K-best sequential decoding. 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2012 - Proceedings of the Conference, 2012, pp. 611–619.
18. Russian spaCy Models Documentation. Available at: https://spacy.io/models/ru#ru_core_news_sm
19. Pre-trained embeddings – DeepPavlov 0.15.0 documentation. Available at: http://docs.deeppavlov.ai/en/master/features/pretrained_vectors.html#bert
20. News dataset from Lenta.Ru. Available at: <https://kaggle.com/yutkin/corpus-of-russian-news-articles-from-lenta>

Сведения об авторах

П. А. Ломов — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;
М. Л. Малоземова — инженер-исследователь ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

P. A. Lomov — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

M. L. Malozemova — research engineer of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 35–49.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 35–49.

Научная статья
УДК 004.5, 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.003

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕОАТРИБУТИРОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СВЯЗНОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ КАРТОСХЕМ

Вицентий Александр Владимирович¹, **Шишаев Максим Геннадьевич²**

^{1, 2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *alx_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

² *shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>*

Аннотация

В данной работе рассматривается проблема извлечения геоатрибутированных сущностей из текстов на естественном языке для визуального представления пространственной связности географических объектов с помощью использования технологии автоматизированной генерации картосхем, как предметно-ориентированных компонентов географических информационных систем. В работе описана информационная технология, которая позволяет извлекать геоатрибутированные сущности из текстов на естественном языке с помощью комбинирования нескольких подходов. Это нейросетевой подход, подход на основе правил и подход на основе использования лексико-семантических шаблонов для анализа естественного языковых текстов. Для визуализации данных предлагается использовать автоматизированные средства геокодирования в совокупности с возможностями современных географических информационных систем. Результатом работы этой технологии является картосхема, отображающая пространственную связность объектов, упомянутых в тексте.

Ключевые слова:

обработка естественного языка, распознавание именованных сущностей, картографический интерфейс, геовизуализация, картосхема

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036.

Для цитирования: Вицентий А. В., Шишаев М. Г. Технология извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 35–49. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>

Original article

THE GEOATTRIBUTED ENTITY EXTRACTION TECHNOLOGY FOR VISUAL REPRESENTATION OF OBJECTS SPATIAL RELATIONS BASED ON AUTOMATED SCHEMATIC MAP GENERATION

Alexander V. Vicentiy¹, **Maxim G. Shishaev²**

^{1, 2} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *alx_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

² *shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>*

Abstract

This paper considers the problem of extracting geoattributed entities from natural language texts to visualize the spatial relations of geographical objects. For visualization we use the technology of automated generation of schematic maps as subject-oriented components of geographic information systems. The paper describes the information technology that allows extracting geoattributed entities from natural language texts by combining several approaches. These are the neural network approach, the rule-based approach and the approach based on the use of lexico-syntactic patterns for the analysis of natural language texts. For data visualization we propose to use automated geocoding tools in conjunction with the capabilities of modern geographic information systems. The result of this technology is a cartogram that displays the spatial relations of the objects mentioned in the text.

Keywords

natural language processing, named entity recognition, cartographic interface, geovisualization, schematic map

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036.

For citation: Vicentiy A. V., Shishaev M. G. The geoattributed entity extraction technology for visual representation of objects spatial relations based on automated schematic map generation // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 35–49. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>.

1. Введение

В настоящее время в свободном доступе находится огромное количество текстовой информации. Как правило, это неструктурированные или слабо структурированные тексты на естественном языке. Причем в различных отчетах и обзорах, касающихся оценки аудитории Интернет и связанных с этим вопросов, отмечается, что в 2021 году количество пользователей сети Интернет росло особенно быстро. Некоторые исследователи связывают этот факт с пандемией Covid-19. Интенсивный приток пользователей Интернет, как абсолютно новых, так и просто создающих новые аккаунты, явился одним из «побочных эффектов» пандемии.

В любом случае, вне зависимости от причин, увеличение пользователей будет способствовать дальнейшему увеличению количества естественно-языковых текстов в информационном пространстве. А увеличение количества и разнообразия свободно доступных текстов, в свою очередь, будет способствовать повышению их привлекательности в качестве источника для автоматического извлечения данных и знаний с помощью современных методов обработки текстов на естественном языке (Natural Language Processing, NLP) [1, 2].

Учитывая тот факт, что большая часть данных в сети Интернет в явном или неявном виде ассоциирована с геоданными, например, имеет географическую привязку, геотеги, или содержит указание на географические объекты [3], создание новых и развитие существующих подходов и методов для распознавания географических сущностей и извлечения геоданных из текстов будет становиться все более важной и актуальной задачей.

Кроме того, развитие методов автоматизированного извлечения данных, включая геоданные, и знаний (семантики) из естественно-языковых текстов имеет большое прикладное значение. Эти данные и знания, преобразованные в удобный для решения конкретной задачи вид, находят применения в таких областях как поддержка принятия решений [4], анализ текстов [5-7],

логистические задачи [8, 9], разработка и наполнение онтологий [10, 11], исследование социальных сетей [12, 13], анализ медицинских документов [14], поиск географической информации [15, 16] и других.

В этой работе описывается информационная технология, которая позволяет извлекать геоатрибутированные сущности из текстов на естественном языке, а затем, на основе извлеченных данных, генерировать картосхемы, отображающие пространственную связность геоатрибутированных сущностей, упомянутых в тексте.

2. Материалы и методы

Для извлечения именованных географических сущностей из текстов на естественном языке применяются методы, используемые для решения задач информационного поиска [17], распознавания именованных сущностей [18], и поиска географической информации [19]. Реализованные в современных программных средствах методы и алгоритмы для извлечения геоданных из текстов основаны, как правило, на более общих методах распознавания именованных сущностей [20-22]. Однако, все разнообразие подходов в области распознавания именованных сущностей можно разделить на три категории: подходы, основанные на использовании нейронных сетей и машинного обучения; подходы, основанные на использовании правил; гибридные подходы [23, 24].

На сегодняшний день практически все state-of-the-art решения задачи распознавания именованных сущностей основаны на нейросетевом подходе. Именно этот подход показывает наилучшие результаты при относительно небольших трудозатратах при разработке. Кроме того, за последние годы было создано большое количество различных фреймворков, библиотек и обучающих выборок, которые значительно облегчают создание готовых решений. Подходы на основе правил находят применение в основном при работе со сложными или специфическими предметными областями [25-27], для создания систем, работающих с языками с богатой морфологией или восточными и азиатскими языками [28, 29], а также в гибридных системах, объединяющих достоинства обоих подходов.

Предварительная оценка возможностей современных инструментов распознавания именованных сущностей (SpaCy, Google Cloud NLP, Natasha, и других) с точки зрения решения задачи извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности показала, что ни один из этих инструментов не может обеспечить распознавание пространственных отношений в текстах на естественном языке. Эксперименты проводились как для русскоязычных, так и для англоязычных текстов.

В связи с этим, нами была предложена гибридная информационная технология извлечения геоатрибутированных сущностей, позволяющая распознавать в текстах на естественном языке не только географические именованные сущности, но и информацию о пространственных связях (связях, имеющих географический смысл) распознанных географических объектов. Гибридная информационная технология объединяет возможности нейросетевого подхода, подхода на основе правил и анализа текста на основе лексико-семантических шаблонов. Данные, полученные в результате обработки текстов с помощью предложенной технологии извлечения геоатрибутированных

сущностей, визуализируются в виде картосхем. Генерация картосхем реализована на основе модификации методик и программных модулей геокодирования и визуализации описанных в наших предыдущих работах [30].

Материалами для анализа послужили русскоязычные тексты арктической тематики. Основными источниками текстов служили новостные ресурсы в сети Интернет, официальные сайты органов исполнительной власти и муниципалитетов, а также электронных средств массовой информации. Значительная часть текстов была собрана на предыдущих этапах исследования [31, 32] и в том или ином виде связана с описанием транспортно-логистической системы арктической зоны Российской Федерации.

3. Результаты

Как было сказано выше, технологию извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем можно разделить на две основные стадии – I) стадия распознавания геоатрибутированных сущностей и II) стадия геокодирования и геовизуализации.

В данной работе в качестве рабочего определения геоатрибутированной сущности мы используем следующее определение. Геоатрибутированная сущность (ГАС) это некоторый объект реального (физического) мира, имеющий географические координаты и географический смысл в рамках решаемой задачи. В естественно языковых текстах геоатрибутированная сущность может быть названа как «прямым способом» (например, «Хибины», «Мурманск», и т.д.), так и «описательным» («железнодорожная линия станция Выходной - мостовой переход через р. Тулома - станция Мурмаши 2 - станция Лавна», «дорога от Мурманска до Белокаменки»). Распознавание геоатрибутированных сущностей, определяемых в текстах описательным способом, является сложной задачей, не имеющей стандартного решения в настоящее время.

Таким образом, под геоатрибутированной сущностью в этой работе мы понимаем как «стандартные» географические именованные сущности (например, топонимы), так и пространственные отношения между ними. Например, в предложении *«Новая автодорога будет проложена между Мурманском и Белокаменкой.»* мы можем выделить три геоатрибутированные сущности. «Мурманск» и «Белокаменка» являются именованными сущностями типа местоположение (топоним), а «автодорога» является геоатрибутированной сущностью типа пространственное отношение [33]. Следует отметить, что сущности типа местоположение довольно хорошо распознаются существующими средствами распознавания именованных сущностей, а для распознавания сущностей типа пространственное отношение нет стандартных общепринятых подходов и готовых решений. Поэтому для распознавания пространственных отношений в текстах на естественном языке приходится применять комбинацию нескольких подходов обработки естественного языка. При этом, как правило, приходится учитывать особенности предметной области.

Стадию распознавания геоатрибутированных сущностей рассматриваемой технологии можно разделить на три основных этапа.

На первом этапе выполняется обработка предварительно подготовленных текстов с помощью искусственной нейронной сети. Русский язык обладает рядом

особенностей, которые осложняют распознавание именованных сущностей [34, 35]. Эти особенности необходимо учитывать при выборе инструмента обработки русскоязычных текстов. Поэтому в качестве инструмента для распознавания именованных сущностей мы выбрали библиотеку Natasha [36] реализованную на основе дистилляции языковой модели BERT от компании Google [37] и обученную на корпусе русскоязычных текстов. Эксперименты показали, что с помощью библиотеки Natasha удастся распознать около 97 – 98 % именованных сущностей (топонимов), что соответствует заявленным характеристикам библиотеки и возможностям современных инструментов распознавания именованных сущностей.

Особенностью описываемой гибридной информационной технологии является то, что в результате работы первого этапа анализа текста мы получаем не только распознанные именованные сущности, но также формируем и сохраняем в отдельные текстовые блоки, включающие предложения, в которых они были найдены, и окрестность этих предложений для обработки на последующих этапах технологии. Окрестность формируется с помощью метода «скользящего окна». Таким образом, окрестностью предложения, содержащего именованную сущность, является одно или несколько предложений, находящихся в тексте справа и (или) слева от него. Размер окрестности задается размером скользящего окна.

Окрестность необходима для того, чтобы учитывать контекст при распознавании геоатрибутированных сущностей типа пространственное отношение на следующих этапах анализа текста в рамках предложенной гибридной технологии. Чем больший размер окна будет выбран, тем большая окрестность будет сформирована и тем более широкий контекст может быть учтен при последующем анализе текста. Однако, необоснованное расширение окрестности повышает количество ошибок при распознавании пространственных отношений. Это связано с тем, что при чрезмерно большом размере окрестности происходит захват контекстов, не имеющих отношения к анализируемому предложению. На основе нескольких проведенных экспериментов эмпирическим путем был выбран наиболее эффективный размер окна [-1; +1]. Это значит, что в качестве окрестности сохранятся одно предложение слева от предложения с распознанным топонимом и одно предложение справа от него.

Ввиду того, что современные нейросетевые инструменты обработки естественных языков плохо справляются с распознаванием сложных топонимов и пространственных отношений географических объектов, вторым этапом гибридной информационной технологии извлечения геоатрибутированных сущностей является этап синтаксико-морфологического анализа текста на основе применения правил и словарей. Этот этап позволяет повысить полноту распознавания геоассоциированных сущностей, а также распознавать в тексте указания на пространственные отношения между различными географическими объектами, например, за счет использования ключевых слов, собранных в словари.

В качестве инструмента анализа текста на втором этапе мы используем Yargy-парсер [38], реализующий алгоритм синтаксического анализа Earley [39]. Yargy-парсер позволяет использовать пользовательские грамматики и словари для анализа текста, благодаря чему появляется возможность распознавать, например, такие сложные топонимы, как «Путевая Усадьба 9 км железной дороги

Луостари-Никель», распознавание которых с помощью нейросетевых подходов практически невозможно. Каждый текстовый блок (предложение + окрестность), полученный на первом этапе, обрабатываются парсером отдельно, в рамках «локального контекста» каждого блока. Это позволяет повысить точность распознавания геоатрибутированных сущностей типа пространственное отношение, а также определить тип пространственного отношения (автомобильная дорога, зимник, переправа, авиарейс, железная дорога, и так далее.) и его атрибуты, если они указаны в тексте.

Эффективность анализа текстов на втором этапе сильно зависит от предметной области, а также качества разработанных правил и словарей. Основная сложность подхода, основанного на словарях и правилах, заключается в том, что учесть все возможные варианты геоатрибутированных сущностей, имеющих значение для визуализации пространственных отношений очень сложно. Поэтому третьим этапом анализа текста в рамках гибридной информационной технологии извлечения геоатрибутированных сущностей является анализ текстов с использованием лексико-семантических шаблонов.

В контексте решения задач обработки естественного языка под лексическим шаблоном понимается декларативная структура, некоторый структурный образец языковой конструкции, который отображает её лексические и синтаксические свойства. То есть это описание некоторого смыслового явления, например такого, как пространственная связь объектов, в виде некоторой «устойчивой фразы» или «языковой формулы». Такие шаблоны называют также лексико-синтаксическими или лексико-семантическими [40].

В работе [41] лексико-семантический шаблон определяется как структурный образец целевой языковой конструкции с указанным составом и лексико-семантическими свойствами, а в случае успешного сопоставления шаблона с фрагментом анализируемого текста формируется лексический объект, которому могут быть приписаны формальные (позиционные) и семантические (класс и свойства) характеристики. Таким образом, лексико-семантический шаблон состоит из логической структуры и семантического описания. Лексико-семантические шаблоны представляют собой характерные выражения (словосочетания), конструкции из определенных элементов языка (коллокации) и позволяют построить семантическую модель, соответствующую тексту, к которому они применяются [42].

Мы считаем, что, используя лексические шаблоны можно распознавать в текстах такие лексические конструкции, которые описывают пространственные связи между географическими объектами. В рамках разработки гибридной информационной технологии извлечения геоатрибутированных сущностей мы предлагаем оригинальный подход к решению задачи распознавания пространственной связности географических объектов. Отличительной чертой этого подхода является создание и использование лексико-семантических шаблонов, представляющих собой устойчивые словосочетания нескольких слов, имеющих грамматическую и смысловую связь в рамках локального контекста текстовых блоков, выделенных на предыдущих этапах технологии.

Для анализа текстов с помощью лексико-семантических шаблонов был разработан набор первичных шаблонов, соответствующих предметной области. Этот набор был задан эвристически, что является относительно трудоемким процессом и требует знания предметной области. Однако, конструктивно точное

описание состава и структуры лексико-синтаксических шаблонов позволяет распознавать в текстах геоатрибутированные сущности типа пространственное отношение, которые сложно распознать с помощью других подходов.

Разработанные шаблоны описывают коллокации двух и более слов [43] и составлены с учетом как грамматических шаблонов, характерных для русского языка в целом [44], так и рамок валентностей для отдельных лексем [45].

Помимо повышения точности распознавания геоатрибутированных сущностей, одной из задач, которая решается с помощью применения разработанных нами лексико-семантических шаблонов в данной работе, является определение семантических свойств (атрибутов), а также классификация геоатрибутированных сущностей. Набор семантических атрибутов описывается на уровне класса сущности, но, при необходимости, может быть переопределен. Например, такие геоатрибутированные сущности как «дорога», «автострада», «автодорога», «автомагистраль» и т.п. будут отнесены к классу «автомобильная дорога». Класс геоатрибутированной сущности определяет набор её атрибутов (например, одним из атрибутов класса «автомобильная дорога» является атрибут «тип покрытия»), а также используется для выбора способа отображения для визуализации при генерации картосхем.

Первичный набор лексико-семантических шаблонов был разработан с использованием модифицированной версии языка LSPL [46], и предназначен для формального описания наиболее часто встречающихся языковых конструкций русского языка, для целей извлечения информации о геоатрибутированных сущностях в анализируемых текстах. Базовый синтаксис описания шаблонов удалось существенно упростить за счет учета особенностей рассматриваемой предметной области, а также за счет того, что шаблон применяется не ко всему тексту, а к текстовому блоку, выделенным на предыдущих этапах технологии. Например, простой шаблон, описывающий одну из наиболее распространенных синтаксических конструкций, характерных для рассматриваемой предметной области, представленной несколькими идущими подряд адъективами и именной группой (или отдельным существительным) может быть описан следующим образом: $LSP1 = \{A_or_P\} N(\{aw\}) \langle A = N, P = N, A = P \rangle$, где $LSP1$ – имя шаблона; $\{A_or_P\}$ – множество идущих подряд адъективов, количество которых не фиксировано; $N(\{aw\})$ – существительное (или именная группа) из множества «якорных слов», являющихся подмножеством ключевых слов, соответствующих предметной области и определенных на втором этапе технологии; $\langle A = N, P = N, A = P \rangle$ – оператор грамматического согласования частей речи. С помощью такого шаблона из фразы «Новая асфальтовая автодорога будет проложена между Мурманском и Белокаменкой.» будет выделена геоатрибутированная сущность «автодорога» класса «автомобильная дорога», а также значение «асфальтовая» атрибута «тип покрытия». Для адъективов, распознанных с помощью шаблона, но не относящихся ни к одному из определенных атрибутов введен дополнительный атрибут «прочие характеристики», куда, в данном случае, будет записано значение «новая».

Вторая стадия технологии, реализующая процедуры автоматического геокодирования и геовизуализации, описана в предыдущей работе по данной тематике [47] и в рамках данной статьи подробно рассматриваться не будет. Отметим только, что для оперативной генерации картосхем используются возможности современной ГИС, что позволяет синтезировать картосхемы почти

в режиме реального времени, то есть без значимых с точки зрения человека, задержек при синтезе геоизображения.

4. Заключение

В данной работе рассмотрена технология извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем. Предложенная технология позволяет решать задачу извлечения геоатрибутированных сущностей из текстов на естественном языке для визуального представления пространственной связности географических объектов. Особенностью данной технологии является последовательное использование трех различных подходов для обработки текста: нейросетевого, на основе правил, на основе лексико-семантических шаблонов. Таким образом, технология сочетает в себе эффективность нейросетевого подхода для решения задачи распознавания именованных сущностей, гибкость подхода на основе правил, позволяющего учесть особенности предметной области, а также возможность анализа отдельных сложных лексических конструкций с помощью лексико-семантических шаблонов.

Дальнейшим направлением развития описанной технологии может стать генерация более детализированных и «персонализированных» картограмм, учитывающих особенности задачи, для решения которой генерируется геоизображение. Предложенная технология или её часть также могут быть использованы в качестве элементов мультипредметных интеллектуальных информационных систем или систем поддержки принятия решений для информационной поддержки управления развитием пространственно-организованных биосоциально-экономических региональных систем, в том числе Арктической зоны Российской Федерации.

Список литературы

1. Agarwal, M.: An Overview of Natural Language Processing. In: International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), Vol. 7, 2019. - pp. 2811–2813
2. Khurana D et al Natural Language Processing: State of The Art, Current Trends and Challenges. – 2017. - pp. 1-12
3. 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
4. Бахарева Н.А. Поддержка принятия решений при оценке земель // Государственный советник. 2015. № 1. С. 50–56
5. 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. – P. 102-110.
6. 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
7. Shishaev M.G. Concept and Preliminary Testing of the Two-Stage Technology of Terminology Extraction on the Basis of Topic Modeling and Context Analysis. / Shishaev M.G., Dikovitsky V.V., Lomov P.A. // Lecture Notes in Networks and Systems, vol 228. Springer, 2021. – pp. 636-644
 8. Цветков В.Я., Алпатов А. Н. Управление распределенными транспортными потоками // Государственный советник. - 2014. - №3. – с. 55-60
 9. Vicentiy A.V. Automated Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Analyzing Texts About Projects of Arctic Transport Logistics Development / A.V. Vicentiy, V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev // Intelligent Systems Applications in Software Engineering: Advances in Intelligent Systems and Computing / eds. R. Silhavy, P. Silhavy, Z. Prokopova. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – pp. 419-433.
 10. Shishaev M. Automating Implementation of Business Logic of Multi Subject-Domain IS on the Base of Machine Learning, Data Programming and Ontology-Based Generation of Labeling Functions / Shishaev M., Lomov P. // Communications in Computer and Information Science, vol 1401. Springer, - pp. 177-190
 11. 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
 12. Dikovitsky V.V. Topic Clustering of Social Media Using Multilayer Text Analysis / Dikovitsky V.V., Fedorov A.M. // Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1294. Springer, 2020. - pp. 931-938
 13. Datyev I.O. Framework for Civic Engagement Analysis Based on Open Social Media Data / I.O. Datyev, A.M. Fedorov, A.L. Shchur // Artificial Intelligence and Bioinspired Computational Methods: Advances in Intelligent Systems and Computing / ed. R. Silhavy. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – pp. 586-597.
 14. Pedrosa, J., Oliveira, D. M., Meira, W., Ribeiro, A. L. Automated classification of cardiology diagnoses based on textual medical reports In: Proceedings of the 8th Symposium on Knowledge Discovery, Mining and Learning. 2020, - pp. 185–192
 15. Grishman, R.: Information Extraction. In: The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing. Ed. By Alexander Clark, Chris Fox, and Shalom Lappin. Malden, MA: Wiley-Blackwell. 2010, - pp. 515-530
 16. Purves, R. S., Clough, P., Jones, C. B., Hall, M. H., Murdock, V.: Geographic Information Retrieval: Progress and Challenges in Spatial Search of Text. In: Foundations and Trends in Information Retrieval. Now Publishers Inc. Vol. 12, 2018 - pp. 164–318
 17. Doddington, G.R., Mitchell, A., Przybocki, M., Ramshaw, L., Strassel, S., Weischedel, R.: The Automatic Content Extraction (ACE) Program – Tasks, Data, and Evaluation, <http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2004/pdf/5.pdf>
 18. Sun P., X. Yang, X. Zhao and Z. Wang An Overview of Named Entity Recognition / Sun P., Yang X., Zhao X., Wang Z. //, 2018 International Conference on Asian Language Processing (IALP), 2018, pp. 273-278
 19. Campelo C.E.C., De Souza Baptista C. A model for geographic knowledge extraction on Web documents // Lecture Notes in Computer Science (including

- subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer, Berlin, Heidelberg. Vol. 5833 LNCS, 2009 - pp. 317–326
20. Acheson, E., Volpi, M., Purves R., S.: Machine learning for cross-gazetteer matching of natural features. In: International Journal of Geographical Information, Vol.34, 2019. - pp. 1–27
 21. Zenasni, S. Spatial information extraction from short messages. / Zenasni, S., Kergosien, E., Roche, M., Teisseire, M. // Expert Systems with Applications Vol. 95, 2018. - pp. 351-367
 22. Capineri, C., Haklay, M., Huang, H., Antoniou, V., Kettunen, J., Ostermann, F. and Purves, R. European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. London: Ubiquity Press, 2016. – 474 p.
 23. Stock, K.: Mining location from social media: A systematic review // Computers, Environment and Urban Systems, Vol.71, - 2018. – pp. 209-240
 24. Yadav, V., Bethard, S.: A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning models. In: Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics, 2018. - pp. 2145–2158
 25. Song, H.J. Comparison of named entity recognition methodologies in biomedical documents / Song, H.J., Jo, B.C., Park, C.Y., Kim, J.D., Kim, Y.S. // Biomed. Eng. Online, Vol. 17, 2018. – P 158.
 26. Eftimov, T. A rule-based named-entity recognition method for knowledge extraction of evidence-based dietary recommendations. / Eftimov, T., Seljak, B.K., Korošec, P. // PLoS One, Vol.12, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179488>
 27. Işıklar, Y.E. A TV content augmentation system exploiting rule based named entity recognition method. / Işıklar, Y.E., Çiçekli, N. // Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, 2016. - pp. 349–357
 28. Richa Sharma Named entity recognition for Hindi language: A survey / Richa Sharma, Sudha Morwal, Basant Agarwal // Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, Vol. 22, 2019. – pp. 569-580
 29. Ivanitskiy, R. Russian Named Entities Recognition and Classification Using Distributed Word and Phrase Representations / Ivanitskiy, R., Shipilo, A., Kovriguina, L. // Proceedings of the 3rd Annual International Symposium on Information Management and Big Data - SIMBig 2016, Cusco, Peru, September 1-3, 2016. pp. 150–156.
 30. Вицентий, А. В. Технология извлечения и визуализации пространственных данных, полученных при анализе текстов / А. В. Вицентий, В. В. Диковицкий, М. Г. Шишаев // Труды Кольского научного центра РАН. – 2020. – Т. 11. – № 8(11). – С. 115-119
 31. Vicentiy A.V. The Semantic Models of Arctic Zone Legal Acts Visualization for Express Content Analysis / A.V. Vicentiy, V.V. Dikovitsky, M.G. Shishaev // Software Engineering and Algorithms in Intelligent Systems: Advances in Intelligent Systems and Computing / ed. R. Silhavy. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – pp. 216-228.
 32. 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”. – 2019. – vol. 19. - pp. 667-672

33. Vicentiy A.V. The Technology of Spatial Relations Visualization Based on the Analysis of Natural Language Texts / Vicentiy A.V., Shishaev M.G. // Lecture Notes in Networks and Systems, vol 232. Springer, 2021. – pp. 971-980
34. Piskorski, J. The Second Cross-Lingual Challenge on Recognition, Normalization, Classification, and Linking of Named Entities across Slavic Languages. / Piskorski, J., Laskova, L., Marcińczuk, M., Pivovarova, L., Příbáň, P., Steinberger, J., Yangarber, R. // Proceedings of the 7th Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, 2019. - pp. 63–74.
35. Piskorski, J. The First Cross-Lingual Challenge on Recognition, Normalization, and Matching of Named Entities in Slavic Languages. / Piskorski, J., Pivovarova, L., Šnajder, J., Steinberger, J., Yangarber, R. // Proceedings of the 6th Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, 2017. - pp. 76–85.
36. Официальный сайт проекта Natasha: <https://natasha.github.io/>
37. Официальная страница проекта BERT на github: <https://github.com/google-research/bert>
38. Официальный сайт проекта Yargy: <https://github.com/natasha/yargy>
39. Earley, J. An efficient context-free parsing algorithm. // Communications of the ACM, 13, 1970. - pp. 94 – 102
40. Наместников, А. М. Онтологический подход к sentiment-анализу программных систем / А. М. Наместников, И. В. Арзамасцева // Автоматизация процессов управления. – 2021. – № 2. – С. 34-39.
41. Тимофеев, П. С. Лексико-семантические шаблоны как инструмент декларативного описания языковых конструкций и лингвистического анализа текста / П. С. Тимофеев, Е. А. Сидорова // Системная информатика. – 2018. – № 13. – С. 35-48.
42. Рабчевский Е.А. Автоматическое построение онтологий на основе лексико-синтаксических шаблонов для информационного поиска // Труды 11-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2009. Петрозаводск, 2009. - С. 69–77.
43. Ненаусников, К. В. Алгоритм автоматического выделения коллокаций из текста / К. В. Ненаусников, С. В. Кулешов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62. – № 11. – С. 976-981
44. Найханова Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования: Монография // Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Восточно-Сибирский государственный технологический университет". – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. – 244 с.
45. Апресян, Ю. Д. Трехуровневая теория управления: лексикографический аспект / Ю. Д. Апресян // Теоретические проблемы русского синтаксиса: Взаимодействие грамматики и словаря / ответственный редактор Ю. Д. Апресян. – Москва, 2010. – С. 281-377
46. Официальный сайт проекта LSPL: <http://www.lspl.ru/index.php>

47. Vicentiy, A. V. The Geoimage Generation Method for Decision Support Systems Based on Natural Language Text Analysis / A. V. Vicentiy // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 230. – pp. 609-619

References

1. Agarwal M. An Overview of Natural Language Processing. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), 2019, Vol. 7, pp. 2811–2813.
2. Khurana D., Koli A., Khatter K., Singh S. Natural Language Processing: State of The Art, Current Trends and Challenges. ArXiv, 2017, pp. 1-12.
3. 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.
4. Bahareva N.A. Podderzhka prinyatiya reshenij pri ocenke zemel' [Decision support for land valuation]. *Gosudarstvennyj sovetnik* [State Counselor], 2015, No 1, pp. 50–56. (In Russ.).
5. 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. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, Vol. 859, pp. 102-110.
6. Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. Automated Extraction of Paradigmatic Relationships from Natural Language Texts on the Basis of the Complex of Heterogeneous Features. Intelligent Algorithms in Software Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 763, pp. 531-541.
7. Shishaev M.G., Dikovitsky V.V., Lomov P.A. Concept and Preliminary Testing of the Two-Stage Technology of Terminology Extraction on the Basis of Topic Modeling and Context Analysis. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, Vol 228, pp. 636-644.
8. Cvetkov V.YA., Alpatov A. N. Upravlenie raspredelennymi transportnymi potokami [Distributed Transport Stream Management]. *Gosudarstvennyj sovetnik* [State Counselor], 2014, No 3, pp. 55-60 (In Russ.).
9. 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 Logistics Development. Intelligent Systems Applications in Software Engineering: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, Vol. 232, pp. 419-433.
10. Shishaev M., Lomov P. Automating Implementation of Business Logic of Multi Subject-Domain IS on the Base of Machine Learning, Data Programming and Ontology-Based Generation of Labeling Functions. Communications in Computer and Information Science, 2021, Vol 1401, pp. 177-190.
11. Al-Aswadi F.N., Chan H.Y., Gan K.H. Automatic ontology construction from text: a review from shallow to deep learning trend. Artificial Intelligence Review, 2020, Vol. 53, No 6, pp. 3901-3928.
12. Dikovitsky V.V., Fedorov A.M. Topic Clustering of Social Media Using Multilayer Text Analysis. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol 1294, pp. 931-938.
13. Datyev I.O., Fedorov A.M., Shchur A.L. Framework for Civic Engagement Analysis Based on Open Social Media Data. Artificial Intelligence and Bioinspired

- Computational Methods: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 1225, pp. 586-597.
14. Pedrosa J., Oliveira D. M., Meira W., Ribeiro A. L. Automated classification of cardiology diagnoses based on textual medical reports. Proceedings of the 8th Symposium on Knowledge Discovery, Mining and Learning, 2020, pp. 185–192.
 15. Grishman R. Information Extraction. The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing, 2010, - pp. 515-530.
 16. Purves R. S., Clough P., Jones C. B., Hall M. H., Murdock V. Geographic Information Retrieval: Progress and Challenges in Spatial Search of Text. Foundations and Trends in Information Retrieval, 2018, Vol. 12, pp. 164–318.
 17. Doddington G.R., Mitchell A., Przybocki M., Ramshaw L., Strassel S., Weischedel R. The Automatic Content Extraction (ACE) Program – Tasks, Data, and Evaluation. <http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2004/pdf/5.pdf>.
 18. Sun P., Yang X., Zhao X., Wang Z. An Overview of Named Entity Recognition. International Conference on Asian Language Processing (IALP), 2018, pp. 273-278.
 19. Campelo C.E.C., De Souza Baptista C. A model for geographic knowledge extraction on Web documents. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2009, Vol. 5833, pp. 317–326.
 20. Acheson E., Volpi M., Purves R. Machine learning for cross-gazetteer matching of natural features. International Journal of Geographical Information, 2019, Vol.34, pp. 1–27.
 21. Zenasni S., Kergosien E., Roche M., Teisseire M. Spatial information extraction from short messages. Expert Systems with Applications, 2018, Vol. 95, pp. 351-367.
 22. Capineri C., Haklay M., Huang H., Antoniou V., Kettunen J., Ostermann F., Purves R. European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. London: Ubiquity Press, 2016. – 474 p.
 23. Stock K. Mining location from social media: A systematic review. Computers, Environment and Urban Systems, 2018, Vol.71, pp. 209-240.
 24. Yadav V., Bethard S. A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning models. Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics, 2018, pp. 2145–2158.
 25. Song, H.J., Jo, B.C., Park, C.Y., Kim, J.D., Kim, Y.S. Comparison of named entity recognition methodologies in biomedical documents. Biomed. Eng. Online, 2018, Vol. 17, – pp 158.
 26. Eftimov, T., Seljak, B.K., Korošec, P. A rule-based named-entity recognition method for knowledge extraction of evidence-based dietary recommendations. PLoS One, 2017, Vol.12, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179488>
 27. Işıklar, Y.E., Çiçekli, N. A TV content augmentation system exploiting rule based named entity recognition method. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2016, Vol. 363, pp. 349–357.
 28. Richa Sharma, Sudha Morwal, Basant Agarwal Named entity recognition for Hindi language: A survey. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2019, Vol. 22, pp. 569-580.
 29. Ivanitskiy R., Shipilo A., Kovriguina L. Russian Named Entities Recognition and Classification Using Distributed Word and Phrase Representations. Proceedings of the 3rd Annual International Symposium on Information Management and Big Data – SIMBig, 2016, pp. 150–156.

30. Vitsentiy A.V., Dikovitskiy V.V., Shishayev M.G. Tekhnologiya izvlecheniya i vizualizatsii prostranstvennykh dannykh, poluchennykh pri analize tekstov [Technology of extraction and visualization of spatial data obtained in the analysis of texts]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2020, No 8, pp. 115-119. (In Russ.).
31. Vicentiy A.V., Dikovitskiy V.V., Shishaev M.G. The Semantic Models of Arctic Zone Legal Acts Visualization for Express Content Analysis. *Software Engineering and Algorithms. Intelligent Systems: Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, Vol. 763, pp. 216-228.
32. 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"*, 2019, Vol. 19, pp. 667-672.
33. Vicentiy A.V., Shishaev M.G. The Technology of Spatial Relations Visualization Based on the Analysis of Natural Language Texts. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, Vol 232, pp. 971-980.
34. Piskorski J., Laskova L., Marcińczuk M., Pivovarova L., Přibáň P., Steinberger J., Yangarber R. The Second Cross-Lingual Challenge on Recognition, Normalization, Classification, and Linking of Named Entities across Slavic Languages. *Proceedings of the 7th Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg*, 2019, pp. 63–74.
35. Piskorski J., Pivovarova L., Šnajder J., Steinberger J., Yangarber R. The First Cross-Lingual Challenge on Recognition, Normalization, and Matching of Named Entities in Slavic Languages. *Proceedings of the 6th Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing. Association for Computational Linguistics, Stroudsburg*, 2017, pp. 76–85.
36. <https://natasha.github.io/>
37. <https://github.com/google-research/bert>
38. <https://github.com/natasha/yargy>
39. Earley J. An efficient context-free parsing algorithm. *Communications of the ACM*, 1970, Vol. 13, pp. 94 – 102.
40. Namestnikov A.M., Arzamasceva I.V., Ontologicheskij podhod k sentiment-analizu programmnyh system [Ontological approach to sentiment analysis of software systems]. *Avtomatizaciya processov upravleniya* [Automation of control processes], 2021, No 2, pp. 34-39. (In Russ.).
41. Timofeev P. S., Sidorova E.A. Leksiko-semanticheskie shablony kak instrument deklarativnogo opisaniya yazykovykh konstrukcij i lingvisticheskogo analiza teksta [Lexico-semantic templates as a tool for declarative description of language constructions and linguistic analysis of text]. *Sistemnaya informatika* [System Informatics], 2018, No 13, pp. 35-48. (In Russ.).
42. Rabchevskij E.A. Avtomaticheskoe postroenie ontologij na osnove leksiko-sintaksicheskikh shablonov dlya informacionnogo poiska [Automatic construction of ontologies based on lexical and syntactic templates for information retrieval]. *Trudy 11-j Vserossijskoj nauchoj konferencii «Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kolekcii» – RCDL'2009*. [Proceedings of the 11th All-Russian Scientific Conference "Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections" - RCDL'2009], 2009, pp. 69–77. (In Russ.).

43. Nenausnikov K.V., Kuleshov S.V. Algoritm avtomaticheskogo vydeleniya kollokacij iz teksta [Algorithm for automatic selection of collocations from the text]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie* [Proceedings of higher educational institutions. Instrumentation], 2019, No 11, pp. 976-981. (In Russ.).
44. Najhanova L.V. *Tekhnologiya sozdaniya metodov avtomaticheskogo postroeniya ontologij s primeneniem geneticheskogo i avtomatnogo programmirovaniya: Monografiya* [Technology of creating methods for automatic construction of ontologies using genetic and automatic programming: Monograph]. Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Vostochno-Sibirskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet", Ulan-Ude, Izd-vo BNC SO RAN, 2008, 244 s. (In Russ.).
45. Apresyan YU. D. Trekhurovnevaya teoriya upravleniya: leksikograficheskij aspekt [Three-level control theory: lexicographic aspect]. *Teoreticheskie problemy russkogo sintaksisa: Vzaimodejstvie grammatiki i slovarya* [Theoretical problems of Russian syntax: The interaction of grammar and vocabulary], 2010, pp. 281-377. (In Russ.).
46. <http://www.lspl.ru/index.php>
47. Vicentiy A. V. The Geomage Generation Method for Decision Support Systems Based on Natural Language Text Analysis. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, Vol. 230, pp. 609-619.

Сведения об авторах

А. В. Вицентий — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;
М. Г. Шишаев — доктор технических наук, главный научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

A. V. Vicentiy — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

M. G. Shishaev — Doctor of Science (Tech.), Chief Researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 4. С. 50–56.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 50–56.

Научная статья
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.004

РАСПОЗНАВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ИЗ ЕСТЕСТВЕННО ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ С ЦЕЛЬЮ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Пилецкий Борис Михайлович✉

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

gideon.stl@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0003-3141-9595>

Аннотация

В работе описан один из возможных вариантов реализации распознавания пространственных данных из текстов на естественном языке. Предложенный вариант основан на лексико-синтаксическом анализе текстов, что требует использования специальных грамматик и словарей. Распознавание пространственных данных проводится для их последующего геокодирования и визуализации. Практическая реализация распознавания пространственных данных выполнена с помощью бесплатного, свободно распространяемого программного средства. Также в работе рассмотрены некоторые области применения пространственных данных и приведены предварительные результаты распознавания пространственных данных.

Ключевые слова:

распознавание именованных сущностей, извлечение фактов из текстов, анализ текстов на естественном языке, картографический интерфейс, геовизуализация

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема НИР № 0226-2019-0036).

Для цитирования: Пилецкий Б. М. Распознавание пространственных данных из естественно языковых текстов с целью визуализации // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 50–56. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>.

Original article

RECOGNITION OF SPATIAL DATA FROM NATURAL LANGUAGE TEXTS FOR THE PURPOSE OF VISUALIZATION

Boris M. Pileckiy✉

Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

gideon.stl@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0003-3141-9595>

Abstract

This paper describes one of the possible implementation options for the recognition of spatial data from natural language texts. The proposed option is based on the lexico-syntactic analysis of texts, which requires the use of special grammars and dictionaries. Spatial data recognition is carried out for their subsequent geocoding and visualization. The practical implementation of spatial data recognition is done using a free, freely distributed software tool. Also, some applications of spatial data are considered in the work and preliminary results of spatial data recognition are given.

Keywords:

named-entity recognition, text fact extraction, natural language text analysis, mapping interface, geovisualization

Funding

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (research topic No. 0226-2019-0036).

For citation: Pileckiy B. M. recognition of spatial data from natural language texts for the purpose of visualization // Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies. Series 12. 2021. No 5. Vol. 12. P. 50-56. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>.

Введение

Решение задач управления регионом, социально-экономического развития территорий, обеспечения безопасности природно-промышленных кластеров и других задач, связанных с управлением и развитием больших пространственно распределенных систем, требуют значительных ресурсов и достаточное количество квалифицированных кадров. Особенную сложность такие задачи приобретают если объектом управления является регион с экстремальными природно-климатическими условиями. [1,2] Разработка и применение современных интеллектуальных систем поддержки принятия решений с геоинтерфейсом является одним из путей снижения сложности решения задач управления пространственно-распределёнными социально-экономическими системами. [3]

Управление подобными системами требует от лица, принимающего решения, учитывать и оценивать взаимное влияние множества факторов, включая и географический контекст решаемых задач. [4] Для того, чтобы наиболее эффективно осуществлять планирование использования имеющихся территорий, вносить корректировки с учётом особенностей конкретного региона, определять адекватную стратегию развития инфраструктурных проектов лицам, принимающим решения, необходимо иметь возможность оперативно получать информационную поддержку. При этом для арктических территорий и территорий Крайнего Севера характерна более высокая сложность планирования, в силу природно-климатических особенностей. [5]

Основная часть

Под «геоданными» (или пространственными данными) понимаются цифровые данные о пространственных объектах. К ним относятся сведения об их местоположении, свойствах и иных атрибутах. В таких данных могут быть выделены и рассмотрены взаимосвязанные части: описание пространственного положения или «позиционные данные», а также их тематическое содержание или «непозиционные данные». Таким образом, полное описание подобных данных будет состоять из взаимосвязанных описаний топологии, геометрии и атрибутики рассматриваемых геообъектов. В основе информационного обеспечения географических информационных систем (ГИС) лежат именно такие пространственные данные, с учетом их семантического окружения. Если учитывать изменчивость пространственных данных, то данный концепт может быть расширен.

С учётом того, что в настоящее время более половины всех цифровых данных обладают геопривязкой [6], то в таком случае становится перспективным использование геоданных в системах поддержки принятия решений. Однако,

стоит отметить, что значительная доля информации представляется в неструктурированном виде. Зачастую это могут быть тексты на естественном языке, например официальные документы, статьи, записи в социальных сетях и т.п. В таких условиях актуальной становится задача создания модуля системы поддержки принятия решений для визуализации пространственных данных.[7]

Высокую степень важности применения пространственных данных при управлении обширными территориями отмечает многими авторами. Так в работах [8,9] приводится анализ эффективности и роль применения геоинформации в системах поддержки принятия решений, как фактора управления пространственной информацией. Помимо этого, уделяется внимание рассмотрению вопроса использования такой информации в экономико-статических методах моделирования, а также исследуется синергетический эффект применения подобного типа информации при управлении экономической деятельностью.

Геоданные могут быть использованы при управлении различными видами транспорта. В частности, в работе [10-12] рассматриваются некоторые особенности подходов при решении логистических задач. В частности, выделяют подходы к управлению транспортными потоками, а также предлагаются пути решения задачи маршрутизации транспортных средств.

Широкое применение геоданные нашли в кадастре [13]. Например, в ряде работ подобный тип данных рассматривается как основной ресурс, при помощи которого разрабатываются кадастровые системы и осуществляется учёт земель, создаются методы их оценки, а также ищутся решения задачи стратификации земель.

В связи с этим, можно утверждать, что для успешного решения различных научных и прикладных задач могут быть применены пространственные данные. Стоит отметить, что большая часть ныне существующих систем поддержки принятия решений (СППР) и географических информационных систем не включают в стандартный инструментарий средства обработки текстов на естественном языке с целью выявления в них геоданных. Помимо этого, как в ГИС, так и в СППР зачастую нет инструментов автоматического выявления, структурирования, хранения, и визуализации геоданных, которые получаются посредством проведения анализа текстов на естественном языке. В этой связи, актуальной научно-прикладной задачей становится создание метода, технологии и программно-алгоритмического обеспечения для извлечения геоданных из текстов на естественном языке.

Отличительной особенностью предлагаемых методов и технологий является извлечение геоданных из текстов на естественном языке. Для этого используется инструмент для анализа текстов на естественном языке «Томита-парсер». Он был выбран в результате рассмотрения проблематики извлечения именованных сущностей из текстов на естественном языке.

Материалом для анализа послужил корпус текстов на естественном языке по арктической тематике. Большая часть таких текстов была собрана на предыдущих этапах исследовательских работ, направленных на создание методов, технологий и программно-алгоритмического обеспечения для визуализации пространственных данных, извлеченных из текстов на естественном языке.

На рис. 1 представлена общая схема работы «Томиа парсера», подключаются словари и наборы правил называемые грамматиками для анализа.



Рис. 1. Общая схема работы «Томиа парсера»

Парсером выявляется геоинформация в исследуемых текстах на естественном языке. В результате работы формируется набор слов и словосочетаний, которым противопоставляется их географическая привязка.

Извлечённые из текстов на естественном языке пространственные данные в дальнейшем могут быть визуализированы и для визуализации и поддержки принятия решений по управлению территориями. Гевизуализация в контексте решения управленческих задач, может стать достаточно эффективным инструментом для принятия оптимальных решений при реализации проектов в таких сферах как: энергетика, строительство, освоение месторождений полезных ископаемых, и иных. Помимо этого, наглядное представление пространственных данных позволяет повысить понимание уровня социально-экономического развития региона, распределения населения и объектов промышленности по подведомственной территории.

На данном этапе проводимого исследования были получены следующие результаты. Была разработана структура файлов для инструмента «Томиа-парсер» от компании Яндекс, который используется для извлечения структурированных данных из текста на естественном языке. Такие данные извлекаются для дальнейшего использования в системах поддержки принятия решений по управлению территориями. Предложенная в работе файловая структура на данный момент позволяет проводить анализ текстов по арктической тематике. Были разработаны контекстно-свободные грамматики (правила) с целью повышения эффективности, проводимого при помощи «Томиа-парсера» лексико-синтаксического анализа текстов на естественном языке. Такие грамматики используются для выделения фактов. Помимо этого, создан список типовых структур, которые могут быть использованы при проведении исследований текстов на естественном языке иной тематики.

На начальном этапе анализа на вход необходимо подавать корпус анализируемых текстов на естественном языке. Затем осуществляется анализ текста, результатом которого являются леммы и грамматические признаки. Для «Томиа парсера» был создан газетир (специальный словарь), в которой были добавлены различные статьи, содержащие информацию о геообъектах, например

топонимы Мурманской области. Содержащиеся в газеттире ключи ищутся в процессе анализа, что в результате повышает точность определения искомым геообъектов в тексте. Структура статей в газеттире «Томита парсера» является типовой, что позволяет использовать его в других исследованиях при условии доработки.

Извлекаемые цепочки из текста интерпретируются в факты, согласно разработанным грамматикам. Например, следующее правило: «S -> Place interp(EventFact.Place)» используется для интерпретации цепочки в факт о местоположении события, о котором упоминается в тексте. Структуру фактов была задана отдельно. Используется такое поле факта: «required string EventPlace = 1;».

Проведённые на ограниченном наборе данных испытания показали, что в текущем состоянии точность извлечения геообъектов в текстах на естественном языке находится в диапазоне 85-88%.

Заключение

В дальнейшем планируется расширить список контекстно-свободных грамматик. В частности, исследовать методы разрешения неоднозначностей, при совпадении наименований геообъектов разной природы. Также рассматривается возможность переработки структуры извлекаемых «Томита-парсером» фактов, с целью унификации списка получаемых геообъектов для упрощения дальнейшей обработки. В качестве инструмента гео визуализации может быть выбрана облачная геоинформационная система Arc GIS, а для определения пространственной привязки геообъектов могут быть использованы различные геокодеры. Поскольку структура газеттира достаточно типовая, то процесс его заполнения можно автоматизировать, если использовать скрипт. На данный момент рассматривается вариант разработки скрипта для формирования газеттира на языках программирования C и Python.

Список сокращений

ГИС – географическая информационная система
СППР - система поддержки принятия решений

Список литературы

1. Sentsov A., Bolsunovskaya Y., Melnikovich E. The Arctic zone: Possibilities and risks of development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016, DOI 10.1088/1755-1315/43/1/012100.
2. Bondareva N. N. Modern Approaches to Arctic Development in View of Synergy Potential in the New Risks and challenges Environment // Modernization Innovation Research. -2021.-№12(1). –P.23-33, DOI:10.18184/2079-4665.2021.12.1.23-33.
3. Vicentiy, A. V. The Geoimage Generation Method for Decision Support Systems Based on Natural Language Text Analysis // Lecture Notes in Networks and Systems. –2021. – vol. 230. – P. 609-619.
4. Watkins C. The geographical context // Disclosing Church, 2020. – P. 71-81, DOI:10.4324/9781315142531-8.
5. Vicentiy A.V., Shishaev M.G. The Technology of Spatial Relations Visualization Based on the Analysis of Natural Language Texts // Lecture Notes in Networks and Systems. –2021. vol 232. – P. 971-980.

6. Hahmann S., Burghardt D. How much information is geospatially referenced? Networks and cognition // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2013. – vol. 27. – P. 1171-1189.
7. Бахарева Н.А. Поддержка принятия решений при оценке земель // *Государственный советник*. - 2015.-№1.- С. 50–56.
8. Deravignone L. GIS data and Territorial Management Approach // *Urban coastal area conflicts analysis methodology*, 2013. – P. 267-280.
9. Цветков В.Я., Алпатов А.Н. Управление распределенными транспортными потоками // *Государственный советник*. - 2014. - №3. – С. 55-60.
10. 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. P. 419-433.
11. Wallentin G., Graser A., Scholz J. GIS and Transport Modeling—Strengthening the Spatial Perspective // *International Journal of Geo-Information*. -2016.-№5(6). – P.84-107, DOI:10.3390/ijgi5060084
12. Amar I., Karrar A., Adrees M. A Proposed Framework for Using GIS to Enhance Traffic Safety in Sudan: A Case Study // *American Journal of Traffic and Transportation Engineering*. -2016.-№1(1).
13. Бахарева Н.А. Геоданные в земельном кадастре // *Образовательные ресурсы и технологии*. -2016.-№3 (15). -С. 69-79.

References

1. Sentsov A., Bolsunovskaya Y., Melnikovich E. The Arctic zone: Possibilities and risks of development // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, DOI 10.1088/1755-1315/43/1/012100.
2. Bondareva N. N. Modern Approaches to Arctic Development in View of Synergy Potential in the New Risks and challenges Environment // *Modernization Innovation Research*. -2021.-№12(1). –P.23-33, DOI:10.18184/2079-4665.2021.12.1.23-33.
3. Vicentiy, A. V. The Geoimage Generation Method for Decision Support Systems Based on Natural Language Text Analysis // *Lecture Notes in Networks and Systems*. –2021. – vol. 230. – P. 609-619.
4. Watkins C. The geographical context // *Disclosing Church*, 2020. – P. 71-81, DOI:10.4324/9781315142531-8.
5. Vicentiy A.V., Shishaev M.G. The Technology of Spatial Relations Visualization Based on the Analysis of Natural Language Texts // *Lecture Notes in Networks and Systems*. –2021. vol 232. – P. 971-980.
6. Hahmann S., Burghardt D. How much information is geospatially referenced? Networks and cognition // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2013. – vol. 27. – P. 1171-1189.
7. Bakhareva N.A. Decision-making support in land assessment // *Gosudarstveniy Vestnik*. – 2015. – 1. – P. 50-56.
8. Deravignone L. GIS data and Territorial Management Approach // *Urban coastal area conflicts analysis methodology*, 2013. – P. 267-280.
9. Tsvetkov V.Y., Alpatov A.N. Management of Distributed Transport Flows // *Gosudarstveniy Vestnik*. - 2014. - №3. - С. 55-60.

10. 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. P. 419-433.
11. Wallentin G., Graser A., Scholz J. GIS and Transport Modeling—Strengthening the Spatial Perspective // *International Journal of Geo-Information*. -2016.-№5(6). – P.84-107, DOI:10.3390/ijgi5060084.
12. Amar I., Karrar A., Adrees M. A Proposed Framework for Using GIS to Enhance Traffic Safety in Sudan: A Case Study // *American Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2016. – №1(1).
13. Bakhareva N.A. Geodata in the land cadaster // *Obrazovatelniye resursi I tehnologii*. – 2016. – №3 (15). – С. 69-79.

Сведения об авторах

Б. М. Пилецкий — аспирант ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

B. M. Pileckiy — post-graduate student of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 57–66.
Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 57–66.

Научная статья
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.005

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Джавдет Шевкетович Сулейманов¹, Александр Яковлевич Фридман²✉, Ринат Абрекович Гильмуллин¹, Борис Александрович Кулик³,

¹ *Институт прикладной семиотики АН РТ, Казань, Россия*

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

³ *Институт проблем машиностроения РАН, Санкт-Петербург*

¹ *dvd.t.slt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1404-0372>*

² *fridman@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>*

³ *ba-kulik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6193-5588>*

Аннотация

Проведенный системный анализ задачи моделирования естественного языка (ЕЯ) позволил сформулировать первопричину малой эффективности современных средств накопления и обработки знаний на таких языках. Это сложность интеллектуализации подобных средств, которые созданы на основе примитивных искусственных языков программирования, практически представляющих собой подмножество флективно-аналитических языков или искусственных конструкций на их основе. Для снижения остроты выявленной проблемы предлагается строить системы моделирования ЕЯ на базе технологического инструментария вербализации и распознавания смысла, состоящего из семиотических моделей лексико-грамматических средств ЕЯ. Такой подход представляется особенно перспективным для агглютинативных языков, его предполагается реализовать на примере татарского языка.

Ключевые слова:

моделирование естественного языка, вербализация и распознавание смысла, семиотическая модель лексико-грамматических средств языка, алгебра кортежей

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 19-08-00079-а.

Для цитирования: Сулейманов Дж. Ш., Фридман А. Я., Гильмуллин Р. А., Кулик Б. А. Системный анализ задачи моделирования естественного языка // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 57–66. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.005>.

Original article

SYSTEM ANALYSIS OF THE NATURAL LANGUAGE MODELING PROBLEM

Dzavdet Sh. Suleimanov¹, Alexander Ya. Fridman²✉, Rinat A. Gilmullin¹, Boris A. Kulik³

¹ *Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of the Kazan Federal University, Kazan, Russia*

² *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

³ *Institute of Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg*

¹ *dvd.t.slt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1404-0372>*

² *fridman@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>*

³ *ba-kulik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6193-5588>*

Abstract

System analysis of the problem of modeling a natural language (NL) made it possible to formulate the root cause of the low efficiency of modern means for accumulating and processing knowledge in such languages. This is the complexity of intellectualization for such tools, which are created on the basis of primitive artificial programming languages that practically represent a subset of flecational analytical languages or artificial constructions based on them. To reduce the severity of the identified problem, it is proposed to build NL modeling systems on the basis of technological tools for verbalization and recognition of sense. These tools consist of semiotic models of NL lexical and grammatical means. This approach seems to be especially promising for agglutinative languages; it is supposed to be implemented on the example of the Tatar language.

Keywords:

natural language modeling, verbalization and recognition of sense, semiotic model of lexical and grammatical means of a language, n-tuple algebra

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036. The study was partially supported by RFBR, project number 19-08-00079-a.

For citation: Suleimanov J. Sh., Fridman A. Ya., Gilmullin R. A., Kulik B. A. System analysis of the natural language modeling problem // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 57–66. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.005>.

Введение

В исследовании естественных языков можно выделить три аспекта: когнитивный, коммуникативный и технологический [1]. Когнитивный аспект – это характеристика ЕЯ с точки зрения возможностей описания модели мира, представления знаний. Коммуникативный аспект отражает потенциал языка для кодирования, приема и передачи, семиотической обработки информации, организации диалога. Технологический аспект определяет формальный и концептуальный потенциал ЕЯ для реализации средств эффективной обработки, адекватного описания и компактного хранения информации на данном языке, а также для разработки интеллектуального программного инструментария, включая операционные системы.

На наш взгляд, современные средства накопления и обработки знаний на естественном языке малоэффективны и практически не справляются с такими задачами, как поиск и отбор информации в распределенных базах данных, извлечение знаний, семантический анализ текстовой информации, прежде всего потому, что они изначально являются неинтеллектуальными, созданы на основе примитивных искусственных языков программирования, представляющих собой подмножество флективно-аналитических языков или искусственных конструкций, созданных на их основе. Еще одна причина сложностей в системах обработки ЕЯ связана с организацией их моделей, строящихся на основе формальных систем, в частности, порождающих грамматик (например, [2]), что создает две принципиальные проблемы: монотонность результатов логического вывода и пассивность инструментов логико-семантического анализа информации. Такая

организация моделей ЕЯ названа в работе [3] *глобальным подходом* к организации исследований ЕЯ.

Для снижения остроты указанных проблем в настоящей работе предлагается обратный подход к задаче моделирования естественных языков: строить для них системы моделирования на базе технологического инструментария вербализации и распознавания смысла, состоящего из семиотических моделей лексико-грамматических средств ЕЯ.

Децентрализованная модель ЕЯ

Г.С. Цейтин в публикации [3] предвосхитил грядущие трудности моделирования ЕЯ, связанные с традиционным глобальным подходом к исследованию языков, и на основе своего большого опыта работы в логике и теории программирования предложил альтернативную идею: рассматривать язык как большое количество отдельных подсистем, взаимодействующих друг с другом, не выделяя заранее какой-либо общей системы, подчиняющей себе все остальные. Однако это направление, насколько можно судить по доступной информации, не получило дальнейшего развития, хотя оно вполне согласуется с распространенными в настоящее время распределенными и многоагентными структурами [4], а также с прагматически-ориентированным подходом к построению лингвистических моделей [5].

На наш взгляд, децентрализованное построение систем моделирования ЕЯ создает обширные возможности применения гибкого прагматически-ориентированного подхода к интеллектуализации подобных систем, особенно при реализации некоторых предложений, рассмотренных ниже. Например, за счет построения и использования сложных семиотических моделей, изначально ориентированных на решение семантически нетривиальных задач.

Семиотические модели лексико-грамматических средств ЕЯ

Децентрализованная структура [3] ориентируется на традиционную иерархическую модель ЕЯ. Обычно выделяют фонетический (самый поверхностный), морфологический, синтаксический и семантический (самый глубинный) уровни (например, [6]). Модель анализа задает лингвистические знания в алгоритмах анализа, которые позволяют перейти от некоторого более поверхностного уровня к более глубинному. Лингвистические знания, задаваемые синтезирующими моделями, используются в алгоритмах синтеза, позволяющих перейти от некоторого более глубинного уровня к более поверхностному. При работе системы в любом направлении вызываются те из имеющихся в ней лексико-грамматических инструментов, которые соответствуют виду и уровню обрабатываемой информации, то есть инструменты вторичны по отношению к исследуемым данным и не обладают собственным интеллектом.

В предлагаемом нами подходе будут использоваться проактивные интеллектуальные средства обработки языковой информации, отвечающие за семантически ориентированное исследование и преобразование данных. Такие инструменты по решаемым задачам аналогичны агентам в многоагентных системах, но в отличие от последних, не проектируются независимыми друг от друга, а функционируют согласованно согласно условиям, формируемым координирующими модулями. Такие модули фактически содержат

семиотические модели Поспелова-Полякова [7], отвечающие за целостность и полноту использования имеющейся информации на каждом этапе работы всей системы моделирования. Это свойство позволит реализовать в системе все основные привлекательные характеристики ситуационного подхода [8]: строгость логического вывода, поскольку на каждом шаге моделирования исследуется подмодель, эквивалентная некоторой формальной системе со свойством общезначимости; возможность однозначной классификации и обобщения ситуаций [8, 9]; координируемость задач всех модулей, участвующих в решении текущей задачи [10].

Программно-алгоритмическое наполнение системы моделирования ЕЯ

Здесь рассматриваются в основном средства интеллектуализации разрабатываемой системы моделирования ЕЯ.

Как во всех современных средствах работы с ЕЯ, основной структурой формализации и представления знаний будет система онтологий, специфика ее построения заключается в поддержке ситуационного подхода [11]. Для логико-семантической обработки языковой информации предназначена алгебра кортежей и *QC*-структуры [12]. Имеющийся у авторов задел по этой тематике представлен в работах [13, 14], но, конечно, он требует доработки и верификации для каждого типа задач рассматриваемого проекта. Средства координации взаимодействий инструментов анализа информации и контроля корректности хода обработки данных будут строиться в рамках концепции ситуационной осведомленности [15], при этом вся система моделирования в целом позиционируется как сетцентрическая структура [16].

Тестирование и верификацию системы моделирования предполагается осуществлять с помощью электронного корпуса "Туган тел" [17, 18], содержащего порядка 200 млн. морфологически размеченных словоформ.

О потенциале грамматики татарского языка для разработки интеллектуальных систем

Среди важных признаков интеллектуальности систем принятия решений, как правило, выделяются такие свойства, как активность знаний, то есть первичность анализа данных и вторичность принятия решения на основе этого анализа; возможность оперировать нечеткой информацией, семантически управляемой контекстом, и исполнять нечеткие команды.

В последнее время, особенно в условиях активного развития одного из направлений искусственного интеллекта – технологий нейронных сетей и машинного обучения, актуальными становятся исследования по управляемости искусственного интеллекта человеком и по созданию ИИ, интерпретируемого и интерпретирующего свои решения. Таким образом, на первый план выходит проблема «объяснения» искусственным интеллектом принимаемых им решений, а также понимания и адекватного восприятия машиной человека как «старшего». Практически эта задача может формулироваться как создание «общего здравого смысла», «общей ментальности», «общей картины мира» человека и ИИ.

Одним из перспективных направлений в этом плане является исследование естественных языков для формирования «разума» ИИ, основанного на лексико-грамматических моделях ЕЯ. Как показано в [19], очевидной

перспективой для использования в качестве базового языка обладают агглютинативные языки, в частности, татарский язык, которому также свойственна регулярная, почти автоматная морфология, обеспечивающая кодирование семантически сложной информации.

Выводы и планы предстоящих исследований

Перспективным представляется исследование технологического аспекта ЕЯ с целью выявления естественных лексико-грамматических (морфологических, синтаксических, семантических) конструкций и построение на их базе новых языков программирования с развитыми возможностями интеллектуальной обработки информации.

При децентрализованной структуре системы моделирования ЕЯ некоторые из ее подсистем вследствие широкого использования приобретают общезыковое значение, и тогда можно, как в случае синтаксиса, говорить о системе, относящейся ко всему языку, за отдельными исключениями. В случае же семантики, где удастся хорошо формализовывать частные подсистемы (например, обозначения отношений родства или моментов времени), такой доминирующей в масштабе всего языка системы не обнаружено. Наиболее развитой из формализованных систем для семантики является заимствованная из математики теоретико-множественная семантика, использующая аппарат математической логики. Отсутствие в этой системе ориентации на конкретный тип объектов порождает надежды на то, что ее развитие даст возможность описать семантику всего языка [3]. Такая структура, видимо, особенно перспективна для агглютинативных ЕЯ; учитывая профессиональные интересы и имеющийся у авторов значительный задел (например, [20-22]), ее предполагается реализовать на примере татарского языка. С большой вероятностью, представленный здесь подход может позволить продвинуться в моделировании языка для систем искусственного интеллекта.

В дальнейшем нами планируется исследование и построение математических моделей, отражающих лексико-грамматический потенциал татарского языка, как основы интеллектуальных технологий, включая такие свойства морфологии, как рекурсия, морфологический эллипсис, функциональное многообразие и семантическая многовалентность аффиксов (в том числе, аффиксов кодирования неопределенной информации и нечетких команд). Весьма перспективным представляется также исследование синтаксической структуры, обеспечивающей реализацию свойства активности знаний, являющегося важным показателем интеллектуальности прикладной системы.

Список литературы

1. Сулейманов Д.Ш. К вопросу исследования технологического аспекта естественных языков // Обработка текста и когнитивные технологии: Труды XI Междунар. науч. конф. (Констанца, 7–14 сентября 2009 г.). Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2010, с. 232-245.
2. Chomsky N. Syntactic Structures. The Hague: Mouton, 1957.
3. Цейтин Г.С. О соотношении естественного языка и формальной модели. Архив АН СССР. Работа в Научном совете по комплексной проблеме "Кибернетика", 1980 г.

4. Маслобоев А.В. Технология поддержки принятия решений в системе сетевидного управления региональной безопасностью // Информационно-технологический вестник. 2019. №. 2. С. 117-126.
5. Сулейманов Д.Ш. Обработка ЕЯ-текстов на основе прагматически-ориентированных лингвистических моделей // Сб. под ред. Соловьева В.Д.: Обработка текста и когнитивные технологии. Вып. 3. Труды научного семинара "Когнитивное моделирование" (Пушино, октябрь 1998 г.). С. 205-212.
6. Медведева Т.Н. Формальные модели в лингвистике: Учебное пособие. Саратов: Научная книга, 2010.
7. Поляков В.Н. Проблемы представления, приобретения и использования знаний в свете обработки естественного языка // Когнитивно-семиотические аспекты моделирования в гуманитарной сфере / Научные редакторы д.т.н. В.Л. Стефанюк, д.ф.н. Э.А. Тайсина. Казань: Изд-во АН РТ, 2017. С. 145-163.
8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М: Наука, 1986.
9. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивная категоризация в многокритериальных задачах ситуационного управления. Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3-7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах. Т. 2. С. 225-234.
10. 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.
11. Irina L. Artemieva, Alexander Ya. Fridman. Ontologies in the Automation Problem for Situational Modelling. In: 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC), IEEE, 2018, pp. 48-53.
12. Кулик Б.А. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа / под общ. ред. А.Я. Фридмана. СПб: Политехника, 2020.
13. Зуенко А.А., Кулик Б.А., Фридман А.Я. Интеллектуальные обучающие системы на основе алгебраического представления вопросно-ответных текстов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): материалы III Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 21-23 февраля 2013 г.). Минск: БГУИР, 2013. С. 165-170.
14. Alexander Zuenko, Alexander Fridman, Boris Kulik. Generation of Questions Sequences in Intelligent Teaching Systems Based on Algebraic Approach // Computer Science and Information Technology, 1(2): 2013. P. 125-131.
15. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивный подход к оценке ситуационной осведомленности в сетевидных системах гражданского назначения // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы V Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. д.т.н., проф. А.В. Колесникова. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2020. С. 489-497.
16. Абросимов В.К. Формирование ситуационной осведомленности в больших сетевидных системах // Управление развитием крупномасштабных систем. Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах. М.: ИПУ РАН. 2017. С. 300-303.

17. Татарский национальный корпус "Туган тел". Режим доступа <http://tugantel.tatar/>
18. Сулейманов Д.Ш., Невзорова О.А., Галиева А.М., Гатиатуллин А.Р., Гильмуллин Р.А., Хакимов Б.Э. Размеченный корпус татарского языка "Туган тел": аспекты реализации. В сборнике: Труды Казанской школы по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL-2014. Научные редакторы: Д.Ш. Сулейманов, О.А. Невзорова. 2014. С. 88-93.
19. Сулейманов Д.Ш. Регулярность морфологии татарского языка и типы нарушений в языке // Серия: Интеллект. Язык. Компьютер. Вып. 1. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1994. -С.77-106.
20. Сулейманов Д.Ш., Хакимов Б.Э., Гильмуллин Р.А. Концептуальные и лингвистические аспекты разработки корпуса татарского языка // Фэнни Татарстан. 2017. № 2. С. 7-16.
21. Сулейманов Д.Ш., Гатиатуллин А.Р. Наполнение семантических слотов реляционно-ситуационного фрейма на примере татарских синтаксем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2014. № 4. С. 173-178.
22. Suleimanov D.Sh., Yakubova D.D. Lexical and Grammatical Potential of Turkic Languages for the Development of New Information Processing Technologies. В сборнике: Материалы XV международной конференции по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL-2018 в 2-х томах. Сер. "Интеллект. Язык. Компьютер". 2018. С. 361-372.

References

1. Suleimanov D.Sh. K voprosu issledovaniya tekhnologicheskogo aspekta yestestvennykh yazykov [On the question of researching the technological aspect of natural languages] // Obrabotka teksta i kognitivnyye tekhnologii: Trudy XI Mezhdunar. nauch. konf. [Text processing and cognitive technologies: Proceedings of the XI Intern. scientific. conf. (Constanta, September 7-14, 2009)]. Kazan: Kazan Publishing House. state un-ta, 2010, p. 232-245. (In Russ.)
2. Chomsky N. Syntactic Structures. The Hague: Mouton, 1957.
3. Tseitin G.S. O sootnoshenii yestestvennogo yazyka i formal'noy modeli. [On the relationship between natural language and the formal model] // Arkhiv AN SSSR. Rabota v Nauchnom sovete po kompleksnoy probleme "Kibernetika" [Archive of the USSR Academy of Sciences. Work in the Scientific Council on complex problems] Cybernetics", 1980. (In Russ.)
4. Masloboev A.V. Tekhnologiya podderzhki prinyatiya resheniy v sisteme setetsentricheskogo upravleniya regional'noy bezopasnost'yu [Technology of decision support in the system of network-centric management of regional security] // Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik [Information and technological bulletin]. 2019. no. 2. S. 117-126. (In Russ.)
5. Suleimanov D.Sh. Obrabotka NL-tekstov na osnove pragmaticheskii-orientirovannykh lingvisticheskikh modeley [Processing of NL-texts on the basis of pragmatically-oriented linguistic models] // Sb. pod red. Solov'yeva V.D.: Obrabotka teksta i kognitivnyye tekhnologii. Vyp. 3. Trudy nauchnogo seminara "Kognitivnoye modelirovaniye" (Pushchino, oktyabr' 1998 g.) [Collection of articles. ed. Solovyova V.D. : Text processing and cognitive technologies. Issue 3.

- Proceedings of the scientific seminar "Cognitive modeling" (Pushchino, October 1998). S. 205-212. (In Russ.)
6. Medvedeva T.N. Formal'nyye modeli v lingvistike: Uchebnoye posobiye [Formal Models in Linguistics: A Textbook]. Saratov: Nauchnaya kniga [Saratov: Scientific book], 2010. (In Russ.)
 7. Polyakov V.N. Problemy predstavleniya, priobreteniya i ispol'zovaniya znaniy v svete obrabotki yestestvennogo yazyka [Problems of representation, acquisition and use of knowledge in the light of natural language processing] // Kognitivno-semioticheskiye aspekty modelirovaniya v gumanitarnoy sfere / Nauchnyye redaktory d.t.n. V.L. Stefanyuk, d.f.n. E.A. Taysina. Kazan': Izd-vo AN RT [Cognitive-semiotic aspects of modeling in the humanities / Scientific editors D.Sc. V.L. Stefanyuk, Ph.D. E.A. Taishina. Kazan: Publishing house of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan], 2017. P. 145-163. (In Russ.)
 8. Pospelov D.A. Situatsionnoye upravleniye: teoriya i praktika [Situational control: theory and practice]. M: Nauka [M: Science], 1986. (In Russ.)
 9. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Kognitivnaya kategorizatsiya v mnogokriterial'nykh zadachakh situatsionnogo upravleniya [Cognitive categorization in multicriteria problems of situational control] // Pyatnadtsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2016 (3-7 oktyabrya 2016 g., g. Smolensk, Rossiya). Trudy konferentsii. V 3-kh tomakh [Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2016 (October 3-7, 2016, Smolensk, Russia). Conference proceedings. In 3 volumes. T. 2.S. 225-234. (In Russ.)
 10. Fridman A.Ya. Koordinatsiya i planirovaniye upravleniy v lokal'no organizovannykh iyerarkhicheskikh sistemakh [Coordination and planning of management in locally organized hierarchical systems] // Shestaya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii» SAIT-2015 (15-20 iyunya 2015 g., g. Svetlogorsk, Rossiya): Trudy konferentsii. V 2-kh t. T. 1. [Sixth International Conference "System Analysis and Information Technologies" SAIT-2015 (June 15-20, 2015, Svetlogorsk, Russia): Proceedings of the conference. In 2 volumes. Vol. 1.] M.: ISA RAN. S. 115-124. (In Russ.)
 11. Irina L. Artemieva, Alexander Ya. Fridman. Ontologies in the Automation Problem for Situational Modeling]. In: 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC), IEEE, 2018, pp. 48-53.
 12. Kulik B.A. Logika i matematika: prosto o slozhnykh metodakh logicheskogo analiza [Logic and mathematics: just about complex methods of logical analysis] / pod red. A.Ya. Fridmana, SPb: Politehnika [ed. A.Ya. Fridman. SPb: Polytechnic], 2020. (In Russ.)
 13. Zuenko A.A., Kulik B.A., Fridman A.Ya. Intellektual'nyye obuchayushchiye sistemy na osnove algebraicheskogo predstavleniya voprosno-otvetnykh tekstov [Intelligent learning systems based on the algebraic representation of question-answer texts] // Otkrytyye semanticheskiye tekhnologii proyektirovaniya intellektual'nykh sistem = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): materialy III Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. (Minsk, 21-23 fevralya 2013 g.) [Open Semantic Technologies for Intelligent Systems Design = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): Proceedings of

- the III Intern. scientific and technical conf. (Minsk, February 21-23, 2013)]. Minsk: BSUIR, 2013.S. 165-170. (In Russ.)
14. Alexander Zuenko, Alexander Fridman, Boris Kulik. Generation of Questions Sequences in Intelligent Teaching Systems Based on Algebraic Approach // Computer Science and Information Technology, 1 (2): 2013. P. 125-131.
 15. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Kognitivnyy podkhod k otsenke situatsionnoy osvedomlennosti v setetsentricheskikh sistemakh grazhdanskogo naznacheniya [Cognitive approach to assessing situational awareness in network-centric systems for civil purposes] // Gibridnyye i sinergeticheskiye intellektual'nyye sistemy: materialy V Vserossiyskoy Pospelovskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem / pod red. d.t.n., prof. A.V. Kolesnikova. Kaliningrad: Izdatel'stvo BFU im. I. Kanta [Hybrid and synergetic intellectual systems: materials of the V All-Russian Pospelovskaya conference with international participation / ed. Doctor of Technical Sciences, prof. A.V. Kolesnikov. Kaliningrad: IKBFU Publishing House I. Kant], 2020.S. 489-497. (In Russ.)
 16. Abrosimov V.K. Formirovaniye situatsionnoy osvedomlennosti v bol'shikh setetsentricheskikh sistemakh [Formation of situational awareness in large network-centric systems] // Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem. Materialy Desyatoy mezhdunarodnoy konferentsii: v 2-kh tomakh. M.: IPU RAN [Management of the development of large-scale systems. Materials of the Tenth International Conference: in 2 volumes. Moscow: IPU RAN]. 2017.S. 300-303. (In Russ.)
 17. Tatar National Corps "Tugan Tel". Access mode <http://tugantel.tatar/>
 18. Suleimanov D.Sh., Nevzorova O.A., Galieva A.M., Gatiatullin A.R., Gilmullin R.A., Khakimov B.E. Razmechenny korpus tatarskogo yazyka "Tugan tel": aspekty realizatsii [The marked-up corpus of the Tatar language "Tugan tel": aspects of implementation]. V sbornike: Trudy Kazanskoy shkoly po komp'yuternoy i kognitivnoy lingvistike TEL-2014. Nauchnyye redaktory: D.SH. Suleymanov, O.A. Nevzorova [In the collection: Proceedings of the Kazan School on Computer and Cognitive Linguistics TEL-2014. Scientific editors: D.Sh. Suleimanov, O. A. Nevzorova]. 2014. S. 88-93. (In Russ.)
 19. Suleimanov D.Sh. Regulyarnost' morfologii tatarskogo yazyka i tipy narusheniy v yazyke [The regularity of the morphology of the Tatar language and the types of disorders in the language] // Seriya: Intellect. YAzyk. Komp'yuter. Vyp.1. Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta [Series: Intellect. Language. Computer. Issue 1. Kazan: Kazan Publishing House. University], 1994. -S.77-106. (In Russ.)
 20. Suleimanov D.Sh., Khakimov B.E., Gilmullin R.A. Kontseptual'nyye i lingvisticheskiye aspekty razrabotki korpusa tatarskogo yazyka [Conceptual and linguistic aspects of the development of the Tatar language corpus] // Fenny Tatarstan [Fanny Tatarstan]. 2017. No. 2. S. 7-16. (In Russ.)
 21. Suleimanov D.Sh., Gatiatullin A.R. Napolneniye semanticheskikh slotov relyatsionno-situatsionnogo freyma na primere tatarskikh sintaksem [Filling the semantic slots of a relational-situational frame on the example of Tatar syntaxemes] // Otkrytyye semanticheskiye tekhnologii proyektirovaniya intellektual'nykh sistem [Open semantic technologies for the design of intelligent systems]. 2014. No. 4. S. 173-178. (In Russ.)
 22. Suleimanov D.Sh., Yakubova D.D. Lexical and Grammatical Potential of Turkic Languages for the Development of New Information Processing Technologies.

Materialy XV mezhdunarodnoy konferentsii po komp'yuternoy i kognitivnoy lingvistike TEL-2018 v 2-kh tomakh. Ser. "Intellect. YAzyk. Komp'yuter" [In: Materials of the XV International Conference on Computational and Cognitive Linguistics TEL-2018 in 2 volumes. Ser. "Intellect. Language. Computer"]. 2018.S. 361-372. (In Russ.)

Сведения об авторах

Дж. Ш. Сулейманов – академик АН РТ, профессор, научный руководитель ИПС АН РТ;
А. Я. Фридман – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

Р. А. Гильмуллин – кандидат физико-математических наук, директор ИПС АН РТ;

В. А. Кулик – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИПМаш РАН.

Information about the authors

D. Sh. Suleymanov – Member of the Tatarstan Academy of Sc., professor, scientific leader of the Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sc. of Tatarstan;

A. Ya. Fridman – Dr. of Tech. Sc., professor, Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

R. A. Gilmullin – PhD (Phys.-Math.), director of the Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sc. of Tatarstan;

V. A. Kulik – Dr. of Phys.-Math. Sc., leading research fellow of the Institute of Problems in Mechanical Engineering of RAS.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 67–74.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 67–74.

Научная статья
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.006

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ СОЦИАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ГОСПИТАЛИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ И ПОВЕДЕНИЯ ЛЮДЕЙ

Александр Викторович Смирнов¹, Николай Николаевич Тесля², Елена Георгиевна. Молл³, Сергей Андреевич Михайлов⁴ и Татьяна Викторовна Левашова⁵

^{1,2,4,5} СПб ФИЦ РАН, СПИИРАН, Санкт-Петербург

³ ЕЦПР АНО "ЦНПР"ММК", Санкт-Петербург

¹ smir@iias.spb.su

² teslya@iias.spb.su

³ zeba.moll@yandex.ru

⁴ sergei.mikhailov@iias.spb.su

⁵ tatiana.levashova@iias.spb.su

Аннотация

В работе представлена система поддержки принятия решений в момент госпитализации, основанная на теории коалиционных игр для распределения ограниченных ресурсов системы здравоохранения, способных обеспечить максимальный общий выигрыш в условиях неопределенности. В состав коалиции могут входить пациенты, госпитали, бригады скорой помощи и центры поставки препаратов и оборудования.

Ключевые слова:

поддержка принятия решений, госпитализация, неопределенность, коалиционная игра, нечеткое множество, смарт-контакт

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-60054 в части поддержки принятия социо-ориентированных решений и бюджетной темы № 0073-2019-0005 в части организации взаимодействия пользователей с системой.

Для цитирования: Смирнов А. В., Тесля Н. Н., Молл Е. Г., Михайлов С. А. и Левашова Т. В. Интеллектуальная поддержка принятия социально-ориентированных оперативных решений при госпитализации с учетом ограниченных ресурсов и поведения людей // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 67–74. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.006>.

Original article

INTELLECTUAL SUPPORT FOR SOCIALLY-ORIENTED OPERATIONAL DECISIONS MAKING DURING HOSPITALIZATION, TAKING INTO ACCOUNT LIMITED RESOURCES AND HUMAN BEHAVIOR

Alexander V. Smirnov¹, Nikolay N. Teslya², Elena G. Moll³, Sergey A. Mikhailov⁴ and Tatiana V. Levashova⁵

^{1,2,4,5} St. Petersburg, SPC RAS, SPIIRAS

³ St. Petersburg, ECMD, Management Training Center "MMK"

¹ smir@iias.spb.su

² teslya@iias.spb.su

³ zeba.moll@yandex.ru

⁴ sergei.mikhailov@iias.spb.su

⁵ tatiana.levashova@iias.spb.su

Abstract

The paper presents a decision support system at the time of hospitalization, based on the theory of coalition games for the distributed limited resources of the health care system that can provide the maximum overall benefit in conditions of uncertainty. A coalition may include patients, hospitals, ambulance teams, and drug and equipment supply centers.

Keywords:

decision support, hospitalization, uncertainty, coalition game, fuzzy set, smart contact

Funding

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20-04-60054 in terms of support for making socially-oriented decisions and budgetary topic No. 0073-2019-0005 in terms of organizing user interaction with the system.

For citation: Smirnov V. V., Teslya N. N., Moll E. G., Mikhailov S. A. and Levashova T. V. Intellectual support for socially-oriented operational decisions making during hospitalization, taking into account limited resources and human behavior // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 67–74. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.006>.

Эпидемия коронавируса показала, что при появлении ранее неизвестного заболевания имеющихся стандартных решений при госпитализации может быть недостаточно, и во многих случаях требуется быстрое принятие новых решений, основанных не только на имеющемся опыте, но и на анализе текущей ситуации. Несогласованность в работе различных медицинских сервисов, ориентированных на разрешение ситуации, а также непредсказуемое поведение людей могут приводить к негативным последствиям. В частности, излишне агрессивная оптимизация системы здравоохранения может в конечном итоге привести к нехватке коек, врачей, оборудования и лекарств и, как следствие, к увеличению смертности в критических условиях [1–3]. Также увеличивается время ожидания машины скорой помощи, как при отправке машины скорой помощи к пациенту, так и при транспортировке пациента в стационар. В то же время при пандемии доступные ресурсы для лечения других заболеваний уменьшаются, что может негативно сказаться на общей смертности. Введение жестких ограничительных мер при отсутствии обоснования и недоверия может привести к значительному увеличению уровня стресса и недовольства, что в конечном итоге может перерасти в отказ от рекомендаций врачей и протесты [4–6]. Все это является дополнительной мотивацией для разработки системы принятия решений о госпитализации в условиях пандемии, позволяющей распределить нагрузку на систему здравоохранения.

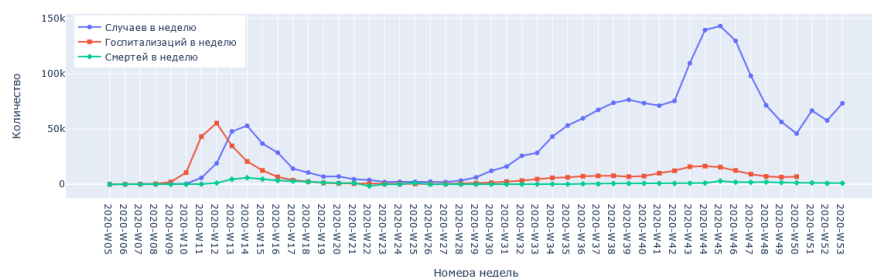


Рис. 1. Новые случаи и госпитализации в Испании по неделям (Данные по ECDC)

В процессе принятия решения о госпитализации необходимо учитывать социальный фактор, заключающийся в накоплении общего стресса в случае роста количества госпитализаций. Для учета данного фактора необходимо определить влияние неопределенности на психологическое состояние человека, поскольку, согласно исследованиям, в условиях неопределенности и постоянного стресса могут допускаться ошибки при принятии решения о госпитализации [7]. Ярким примером является Испания, в которой после получения первых данных о COVID-19 массовая госпитализация была предпринята еще до роста подтвержденных случаев [8]. На рис. 1 приведен график развития ситуации по неделям в Испании, где наглядно виден пик госпитализаций (круглые маркеры), предшествующий реальному выявлению заболевания (квадратные маркеры) и соответствующий рост смертности (ромбовидные маркеры). Как известно из данных, имеющихся в открытом доступе, это привело к серьезной перегрузке системы здравоохранения, росту недовольства граждан и увеличению общей смертности, в том числе от COVID-19 [1].

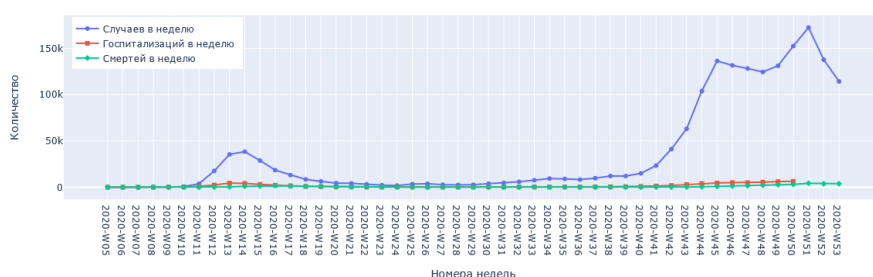


Рис. 2. Новые случаи и госпитализации в Германии в неделю (Данные по ECDC) [8]

График также показывает, что во время второй волны количество госпитализаций было значительно меньше. В то же время, сравнивая общий стресс в первой и второй волнах, можно увидеть, что при правильном ведении и принятии обоснованных решений о госпитализации общее психологическое состояние как врачей, так и пациентов позволяет им более адекватно реагировать на решение о госпитализации. Это наглядно демонстрирует пример Германии, в которой, в отличие от Испании, было меньше ненужных госпитализаций и были получены лучшие результаты по смертности от COVID-19 (рис. 2) [8].

Для интеллектуальной поддержки принятия решения о госпитализации в условиях пандемии предлагается следующая схема организации этого процесса (рис. 3). В процессе госпитализации участвуют пять типов субъектов: пациент, лечащий врач, диспетчер, бригада скорой помощи и больница. Их совместную работу можно формализовать в виде коалиционной игры, ядро которой будет описывать распределение общего выигрыша коалиции при транспортировке пациентов по больницам. В то время как основные характеристики, связанные с количеством свободных мест, расстоянием и временем транспортировки, доступными запасами оборудования и медикаментов легко формализуются для проведения анализа в виде числовых показателей, формализация показателей стресса требует большой вариативности с возможностью нечеткого описания состояний. Самый эффективный инструмент в этом случае - нечеткие множества. В рамках предлагаемой схемы нечеткие множества могут использоваться

совместно с теорией нечеткой логики и нечеткими кооперативными играми, которые обеспечивают не только формализацию состояния пациента и врачей, но и расширяют возможные типы ограничений на условия решаемой задачи.

Для прогнозирования развития ситуации в регионе в процессе принятия решения используются исторические данные по госпитализациям, которые включают в себя динамику количества выявленных случаев, количества госпитализаций, динамику лечения больных в зависимости от тяжести состояния. По собранным данным должна быть создана модель развития ситуации по госпитализации, позволяющая в упрощенном виде спрогнозировать нагрузку на систему здравоохранения (без уточнения нагрузки на отдельные госпитали), используемую как дополнительное ограничение на принятие решения о госпитализации.



Рис. 3. Концептуальная схема процесса принятия решений при госпитализации

Использование нечеткой логики и нечетких кооперативных игр для описания взаимодействия участников коалиции - относительно новый подход, который, однако, показал свою эффективность в задачах конфигурации цепочки поставок [9] и формирования коалиции [10]. Аппарат нечеткой логики и кооперативных игр также может быть использован для оценки эффективности больниц [11] при принятии решения о госпитализации. Эффективность больниц в данном случае оценивается по большому количеству параметров, включающих в себя количество и качество персонала (врачи, медсестры, вспомогательный персонал), динамику накопления усталости, количество коек, количество проведенных операций, затраты на лечение и содержание, согласно имеющимся протоколам лечения и т. д.

Поддержка принятия решений также включает в себя анализ регуляторов поведения человека в контексте эпидемий и пандемий для формирования социо-ориентированных решений. Координация решений сосредоточена вокруг влияния регуляторов поведения участников процесса госпитализации в условиях пандемии, которые включают юридические (жестко фиксированные, общеобязательные), организационные и профессиональные (положения, правила, принятые в определенном профессиональном сообществе), организационные и культурные нормы (подразумеваются, характеристика отдельных организаций, например, больниц и служб), а также индивидуальных норм (моральных и психологических). Для формализации правовых норм используется математическая модель продукционных

правил типа «ЕСЛИ ... ТО ...». Анализ организационных и профессиональных норм требует более сложной формализации в силу большей вариативности. Для этого могут применяться нечеткие множества или сплайновые функции.

Индивидуальные характеристики также оказывают влияние на принятые решения и должны быть учтены в процессе поддержки принятия решений для обеспечения социоориентированности. Принятие решений медицинскими работниками, управленческим персоналом, оперативными работниками осуществляется на фоне переутомления и стресса. В целом отмечается, что стресс из-за неопределенности стал одним из ключевых факторов воздействия на медицинский персонал COVID-19 [12]. Неопределенность диагноза и прогноза лечения связана с отсутствием достоверной и полной информации о заболевании и формах его проявления, методах лечения с учетом индивидуальных особенностей пациентов.

На поведение пациентов в процессе принятия решений о госпитализации влияют стресс, страх, депрессия, вызванные самим заболеванием и его тяжестью; и стрессом, связанным, по мнению зарубежных ученых, с «кризисом здоровья» [13], который во многом связан с распространением угрожающей, эмоциональной, а иногда и избыточной информации о невидимой угрозе, которая в отдельности приводит к постоянному обращению людей к его источникам, сомнениям, что в этих условиях можно рассчитывать на полноценное и качественное медицинское обслуживание. Отсутствие средств защиты, проблемы с адекватным лечением, а также чисто человеческий фактор - усталость, напряжение, тревога и профессиональное выгорание медицинского персонала [6, 14], вызывают у госпитализированных негативные эмоциональные состояния, попытки повлиять на решения медицинского персонала, что должно быть учтено при принятии решения о госпитализации.

При организации обмена информацией в рамках схемы предлагается использовать возможности распределенного цифрового реестра (рис. 4). Обоснованием такого решения является необходимость предоставления доверительного доступа различным сервисам к электронным медицинским картам для ускорения обмена информацией о состоянии пациента, сохранения истории изменений состояния пациента.



Рис. 4. Взаимодействие сервисов в процессе принятия решений в нечеткой коалиционной игре с использованием смарт-контрактов

Смарт-контракты используются как распределенное приложение всеми участниками коалиционной игры. Контракты реализуют логику вычисления ядра коалиции, содержащего комбинацию набора участников, дающую максимальный выигрыш, и правила взаимодействия участников в процессе принятия решения о госпитализации. Они принимают текущее состояние игроков в качестве входных данных и формируют решение, которое сохраняется в распределенном реестре. Согласно полученному решению осуществляется запись в стационар и после согласования с диспетчером запускается процесс транспортировки пациента в больницу.

Источники информации о текущем состоянии системы представлены сервисами в информационном пространстве. Каждая служба связана с распределенным реестром и может передавать данные через блоки в реестре. По запросу пациента диспетчерский центр может быстро получить актуальную информацию и рекомендации о том, куда доставить пациента. Рекомендация формируется путем вызова смарт-контракта, содержащего правила кооперативной игры. При размещении контрактов в цифровом реестре, вся история взаимодействия в процессе принятия решения может быть доступна посредством вызова смарт-контракта, что позволяет быстро получить текущее состояние системы и сформировать коалиционный состав, соответствующий максимальному общему выигрышу (в рассматриваемом случае выигрышем является успешное лечение больного человека).

Список литературы

1. Patel U. et al. Early epidemiological indicators, outcomes, and interventions of COVID-19 pandemic: A systematic review // J. Glob. Health. NLM (Medline), Vol. 10, № 2. 2020. P. 020506.
2. Walters E., Najmabadi S., Platoff E. Texas hospitals are running out of drugs, beds, ventilators and even staff | The Texas Tribune [Electronic resource]. URL: <https://www.texastribune.org/2020/07/14/texas-hospitals-coronavirus/> (accessed: 21.12.2020).
3. Stewart W. Dozens of ambulances filled with suspected coronavirus patients wait hours outside Moscow hospitals | Daily Mail Online [Electronic resource]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8211727/Dozens-ambulances-filled-suspected-coronavirus-patients-wait-hours-outside-Moscow-hospitals.html> (accessed: 21.12.2020).
4. Yeo K.T. et al. Review of guidelines and recommendations from 17 countries highlights the challenges that clinicians face caring for neonates born to mothers with COVID-19 // Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics. Blackwell Publishing Ltd. – Vol. 109, № 11. 2020. – pp. 2192-2207.
5. Cabello I.R. et al. Impact of viral epidemic outbreaks on mental health of healthcare workers: a rapid systematic review // medRxiv. Cold Spring Harbor Laboratory Press. – Vol. 4, № 6. 2020. – P. 2020.04.02.20048892.
6. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people // Brain, Behavior, and Immunity. Academic Press Inc., 2020.
7. Xiong J. et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review // Journal of Affective Disorders. Elsevier B.V. – Vol. 277. 2020. – pp. 55-64.

8. European Centre for Disease Prevention and Control. Download COVID-19 datasets. 2021. [Online]. Available: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/data>.
9. Sheremetov L.B. A model of fuzzy coalition games in problems of configuring open supply networks // *J. Comput. Syst. Sci. Int. SP MAIK Nauka/Interperiodica*. Vol. 48, № 5. 2009. pp. 765-778.
10. Mohebbi S., Li X. Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks // *Int. J. Prod. Econ. Elsevier*. Vol. 169. 2015. pp. 333-342.
11. Omrani H., Shafaat K., Emrouznejad A. An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital efficiency // *Expert Syst. Appl. Elsevier Ltd.* – Vol. 114. 2018. – pp. 615-628.
12. Freeston M. et al. Towards a model of uncertainty distress in the context of Coronavirus (Covid-19). 2020.
13. Garfin D.R., Silver R.C., Holman E.A. The novel coronavirus (COVID-2019) outbreak: Amplification of public health consequences by media exposure // *Health Psychol. NLM (Medline)*. Vol. 39, № 5. 2020. pp. 355–357.
14. Li W. et al. Progression of Mental Health Services during the COVID-19 Outbreak in China // *International journal of biological sciences. NLM (Medline)*. – Vol. 16, № 10. 2020. – pp. 1732-1738.

References

1. Patel U. et al. Early epidemiological indicators, outcomes, and interventions of COVID-19 pandemic: A systematic review. *J. Glob. Health. NLM (Medline)*, Vol. 10, № 2, 2020, P. 020506.
2. Walters E., Najmabadi S., Platoff E. Texas hospitals are running out of drugs, beds, ventilators and even staff. *The Texas Tribune* [Electronic resource]. Available at: <https://www.texastribune.org/2020/07/14/texas-hospitals-coronavirus/> (accessed: 21.12.2020).
3. Stewart W. Dozens of ambulances filled with suspected coronavirus patients wait hours outside Moscow hospitals. *Daily Mail Online* [Electronic resource]. Available at: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8211727/Dozens-ambulances-filled-suspected-coronavirus-patients-wait-hours-outside-Moscow-hospitals.html> (accessed: 21.12.2020).
4. Yeo K.T. et al. Review of guidelines and recommendations from 17 countries highlights the challenges that clinicians face caring for neonates born to mothers with COVID-19. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, Blackwell Publishing Ltd, Vol. 109, № 11, 2020, pp. 2192-2207.
5. Cabello I.R. et al. Impact of viral epidemic outbreaks on mental health of healthcare workers: a rapid systematic review. *medRxiv, Cold Spring Harbor Laboratory Press*, Vol. 4, № 6, 2020, P. 2020.04.02.20048892.
6. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people. *Brain, Behavior, and Immunity*, Academic Press Inc., 2020.
7. Xiong J. et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders, Elsevier B.V.*, Vol. 277, 2020, pp. 55-64.
8. European Centre for Disease Prevention and Control. Download COVID-19 datasets, 2021. [Online], Available at: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/data> (accessed: 21.12.2020)

9. Sheremetov L.B. A model of fuzzy coalition games in problems of configuring open supply networks. J. Comput. Syst. Sci. Int. SP MAIK Nauka/Interperiodica, Vol. 48, № 5, 2009, pp. 765-778.
10. Mohebbi S., Li X. Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks. Int. J. Prod. Econ. Elsevier, Vol. 169, 2015, pp. 333-342.
11. Omrani H., Shafaat K., Emrouznejad A. An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital efficiency. Expert Syst. Appl. Elsevier Ltd., Vol. 114, 2018, pp. 615-628.
12. Freeston M. et al. Towards a model of uncertainty distress in the context of Coronavirus (Covid-19), 2020.
13. Garfin D.R., Silver R.C., Holman E.A. The novel coronavirus (COVID-2019) outbreak: Amplification of public health consequences by media exposure. Health Psychol. NLM (Medline), Vol. 39, № 5, 2020, pp. 355–357.
14. Li W. et al. Progression of Mental Health Services during the COVID-19 Outbreak in China. International journal of biological sciences. NLM (Medline). Vol. 16, № 10, 2020, pp. 1732-1738.

Сведения об авторах

А. В. Смирнов — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН);

Н. Н. Тесля — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН);

Е. Г. Молл — доктор психологических наук, профессор, директор АНО Европейский центр подготовки руководителей "ЦНПР"ММК";

С. А. Михайлов — научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН);

Т. В. Левашова — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН).

Information about the authors

A. V. Smirnov — Doctor of Science (Tech.), professor, chief researcher St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS);

N. N. Teslya — Candidate of Science (Tech.), senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS);

E. G. Moll — Doctor of Science (Psych.), professor, Director of ECMD, Management Training Center "ММК";

S. A. Mikhailov — researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS);

T. V. Levashova — Candidate of Science (Tech.), senior researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS).

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 75–90.

Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 75–90.

Научная статья

УДК 004.832

DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.007

Александр Анатольевич Зуенко^{1✉}, Ольга Владимировна Фридман², Ольга Николаевна Зуенко³

1, 2, 3 Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

¹zuenko@iimm.ru✉

²ofridman@iimm.ru

³ozuenko@iimm.ru

ПОДХОД К ПОИСКУ ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА В ЗАДАЧАХ CONSTRAINED CLUSTERING С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ОЦЕНОК НЕСКОЛЬКИХ ЭКСПЕРТОВ

Аннотация

Разработан подход к решению задачи Constrained Clustering, основанный на агрегировании данных, полученных в результате оценивания характеристик кластеризуемых объектов несколькими независимыми экспертами, и анализе альтернативных вариантов разбиения на кластеры методами Constraint Programming с использованием оригинальных эвристик. Кластеризуемые объекты представляются как мультимножества, что позволяет применять соответствующие способы агрегации мнений экспертов. Предлагается решать задачу Constrained Clustering как задачу удовлетворения ограничений. Основное внимание уделено вопросу уменьшения количества и упрощению ограничений задачи удовлетворения ограничений на стадии её формализации. В рамках подхода созданы: метод оценки оптимального значения целевой функции путем иерархической кластеризации мультимножеств с учетом априорных ограничений предметной области и метод генерации с применением полученной оценки дополнительных ограничений на искомое решение в виде “smart-таблиц”. Подход позволяет находить наилучшее разбиение в задачах рассматриваемого класса, имеющих высокую размерность.

Ключевые слова:

кластеризация с частичным привлечением учителя, теория мультимножеств, программирование в ограничениях

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00708а.

Для цитирования: Зуенко А. А., Фридман О. В., Зуенко О. Н. Подход к поиску глобального оптимума в задачах *Constrained Clustering* с привлечением оценок нескольких экспертов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 75–90. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.007>.

Original article

AN APPROACH TO FINDING A GLOBAL OPTIMUM IN CONSTRAINED CLUSTERING TASKS INVOLVING THE ASSESSMENTS OF SEVERAL EXPERTS

Alexander A. Zuenko^{1✉}, Olga V. Fridman², Olga N. Zuenko³

1, 2, 3 Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

¹zuenko@iimm.ru✉

²ofridman@iimm.ru

³ozuenko@iimm.ru

Abstract

An approach to solving the constrained clustering problem has been developed, based on the aggregation of data obtained as a result of evaluating the characteristics of clustered objects by several independent experts, and the analysis of alternative variants of clustering by constraint programming methods using original heuristics. Objects clustered are represented as multisets, which makes it possible to use appropriate methods of aggregation of expert opinions. It is proposed to solve the constrained clustering problem as a constraint satisfaction problem. The main attention is paid to the issue of reducing the number and simplifying the constraints of the constraint satisfaction problem at the stage of its formalization. Within the framework of the approach, we have created: a) a method for estimating the optimal value of the objective function by hierarchical clustering of multisets, taking into account a priori constraints of the subject domain, and b) a method for generating additional constraints on the desired solution in the form of "smart tables", based on the obtained estimate. The approach allows us to find the best partition in the problems of the class under consideration, which are characterized by a high dimension.

Keywords:

semi-supervised clustering, the theory of multisets, constraint programming

Funding

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-07-00708a.

For citation: Zuenko A. A., Fridman O. V., Zuenko O. N. An approach to finding a global optimum in *Constrained Clustering* tasks involving the assessments of several experts // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 75–90. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.007>.

Введение

В рамках настоящих исследований для систематического решения задачи Constrained Clustering предложено использовать парадигму Constraint Programming. Предлагается решать задачу Constrained Clustering как задачу удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem - CSP). Особенностью предложенного подхода является его ориентация на групповое принятие решений, то есть характеристики всех кластеризуемых объектов оцениваются несколькими экспертами. Основное внимание уделено вопросу уменьшения количества и упрощению ограничений задачи CSP в процессе её постановки.

В качестве базовой модели для решения задачи Constrained Clustering была использована модель, описанная в [1].

В отличие от исследований, представленных в [1], в настоящей работе предполагается, что и кластер и кластеризуемый объект представляются как мультимножества, а расстояние (d_{ij}) между ними ищется с помощью метрик в пространстве мультимножеств Петровского [2]. Это позволяет расширить область применения методов решения задач кластеризации в пространствах большой размерности на базе Constrained Clustering на задачи группового принятия решений, и в случае необходимости, использовать соответствующие методы агрегации данных [2].

В базовой модели существенная проблема состоит в организации эффективной обработки нечисловых ограничений, формализующих для пар объектов правила их отнесения к одному или различным классам, а именно ограничений вида: $(d_{ij} > D) \rightarrow (G_i \neq G_j)$. Проблема заключается в том, что большое число подобных ограничений в совокупности не могут быть эффективно обработаны с помощью существующих сред программирования в ограничениях.

Таким образом, актуальным направлением исследований представляется разработка способов ускорения обработки нечисловых ограничений (новых методов распространения нечисловых ограничений). Данное направление исследований наиболее полно отражено в [3]. Другое направление работ, которое активно развивается в настоящих исследованиях, связано с тем, чтобы уменьшить количество ограничений, используемых для представления задачи, и упростить их вид. В ходе исследований было предложено генерировать ограничения не для всех пар объектов, а лишь для некоторых, что способно существенно снизить размерность решаемой задачи.

Предлагаемый метод

Проиллюстрируем применение предлагаемого подхода на примере задачи кластеризации с критерием минимизации диаметра разбиения.

Пусть задача состоит в том, что требуется разбить n объектов на k кластеров таким образом, чтобы диаметр разбиения был минимальным среди всех возможных разбиений. Диаметр разбиения – это максимальный диаметр для всех кластеров разбиения. Диаметр кластера – это максимальное расстояние между любыми двумя точками, принадлежащими данному кластеру. Описываемая модель позволяет искать разбиение при условии, что не задано точное число k итоговых кластеров, а задан лишь интервал $k \in [k_{min}, k_{max}]$.

В настоящей работе предполагается, что и кластер и кластеризуемый объект представляются как мультимножества, а расстояние между ними (d_{ij}) ищется с помощью метрик в пространстве мультимножеств Петровского [3].

Кратко опишем предлагаемый подход:

1 шаг. Оценить диапазон значений, в который должен попадать искомый оптимальный диаметр разбиения. Для нахождения первоначального разбиения предлагается использовать метод FPF (*Furthest Point First*), представленный в [4]. Данный приближенный метод позволяет найти оценку для оптимального диаметра разбиения: $D \in [d^{FPF} / 2, d^{FPF}]$. При этом, чем точнее мы определяем нижнюю границу, тем менее точной оказывается верхняя, и наоборот. Как правило, этот метод позволяет получить хорошую оценку именно для нижней границы. На основе полученной оценки генерируются ограничения *cannot-link* ($G_i \neq G_j$) для тех пар кластеров, для которых $d_{ij} > d^{FPF}$. Для пар объектов, удовлетворяющих условию $d_{ij} < (d^{FPF} / 2)$, ограничений и вовсе генерировать не требуется, поскольку для них ограничения вида $(d_{ij} > D) \rightarrow (G_i \neq G_j)$ вырождаются в тождественно истинные утверждения.

2 шаг. Выполнить конкретизацию верхней границы интервала $D \in [d^{FPF} / 2, d^{FPF}]$. Для этого осуществляется процедура иерархической кластеризации мультимножеств, описанная в [3]. Существенная модификация данной процедуры заключается в том, что в ходе кластеризации анализируются ограничения *cannot-link*. Применение данного метода повышает эффективность вычислительных процедур и позволяет сократить перебор вариантов объединения кластеров. В результате данного шага получаем новый интервал для оценки D .

3 шаг. Сгенерировать ограничения для систематического решения задачи CSP. Предыдущие два этапа позволяют генерировать ограничения не для всех пар кластеризуемых объектов, как было описано ранее. Ограничения представляются с помощью табличных ограничений, а именно предложенных одним из авторов *smart*-таблиц *D*-типа [3]. Обработка данных ограничений производится с помощью высокоэффективных авторских методов удовлетворения нечисловых ограничений [3].

4 шаг. Решить сгенерированную на предыдущем шаге задачу *Constrained Clustering* с помощью описанных далее эвристик для поиска переменной и её значения. Предлагаемый метод систематического поиска опирается на следующие эвристики выбора переменной на текущем шаге поиска: выбирается переменная, домен которой содержит наименьшее количество значений. При выборе значения переменной руководствуемся следующим правилом: поскольку переменная представляет один из кластеризуемых объектов, а её значение – номер кластера, то присваиваем переменной номер того кластера, который ближе к рассматриваемому объекту (рассчитываются расстояния между соответствующими мультимножествами).

В настоящей работе подробно рассматриваются 1 и 2 шага предлагаемого подхода, направленные на снижение количества генерируемых ограничений задачи удовлетворения ограничений, а также на упрощение вида ограничений.

В качестве примера применения разработанного метода рассмотрим задачу кластеризации участков горного массива по уровню сейсмической активности. Задача состоит в том, что участок горного массива разделен на определенное количество условных ячеек, в нашем случае их 56 (рис. 1). Каждое пространственная ячейка оценивалась двумя экспертами. На рисунке 2 приведены фрагменты таблиц оценок. Оценка производилась на основании определенного набора факторов, оказывающих, по мнению экспертов, влияние на возникновение сейсмических событий.

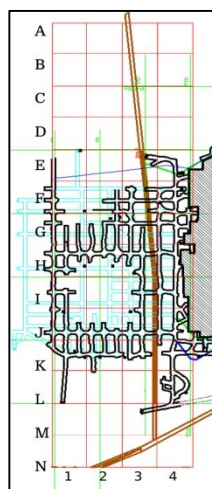


Рис. 1. Разбиение горного массива на условные ячейки

Исходные данные были представлены в виде таблицы с описанием совокупности влияющих факторов с учетом числа сейсмособытий и с представлением групп сейсмособытий в виде совокупности мультимножеств.

В качестве признаков (факторов) использовались: СН - структурные нарушения (разломы), ГП - типы горных пород в ячейке (рудное тело, вмещающие породы,...), ОП - очистное пространство текущего горизонта, ОПв - очистное пространство вышележащего горизонта, В - выработки (сопряжение, вертикальные, горизонтальные,...), С - сейсмичность (повышенная, средняя, фоновая), ВР - взрывные работы (проходческие, добычные), ФР - фронт работ (от центра к флангам, от флангов к центру целика, ...).

Каждый фактор, который используется для оценки, имеет собственную шкалу. Цель кластеризации - выявить зоны с различной степенью сейсмической активности. Данная задача фактически является задачей группового принятия решений. Для её решения был привлечен аппарат теории мультимножеств.

N	СН	ГП	ОП	ОПв	В	С	ВР	ФР
	0-4	0-4	0-3	0-4	0-5	0-4	0-3	0-3
A1	0	4	0	0	0	0	0	0
A2	2	4	0	0	0	0	0	0
A3	3	4	0	0	0	0	0	0
A4	1	4	0	0	0	0	0	0
B1	0	4	0	0	0	0	0	0
B2	2	4	0	0	0	0	0	0
B3	3	4	0	0	0	0	0	0
B4	1	4	0	0	0	1	0	0
C1	0	4	0	0	0	0	0	0

N	Г	П	ОП	ОПв	В	С	ВР	ФР
	0-4	0-4	0-3	0-4	0-5	0-4	0-3	0-3
A1	0	4	0	0	0	2	0	0
A2	1	4	0	0	0	1	0	0
A3	2	4	0	0	0	1	0	0
A4	1	4	0	0	0	2	0	0
B1	0	4	0	0	0	3	0	0
B2	1	4	0	0	0	3	0	0
B3	2	4	0	0	0	3	0	0
B4	1	4	0	0	0	3	0	0
C1	0	4	0	0	0	2	3	0

Рис. 2. Фрагменты таблиц с оценками экспертов

Мультимножество – это множество с повторяющимися элементами [2]:

$A = \{k_A(x) \bullet x \mid x \in X, k_A(x) \in Z_+\}$, где: $k_A(x)$ – функция кратности элементов.

Ниже приводятся два способа описания мультимножества:

$M = \{a, a, a, c, c, e, e, g, d, d, d, b, b, b, b, b\}$

$$M=\langle 3, a \rangle, \langle 2, c \rangle, \langle 2, e \rangle, \langle 1, g \rangle, \langle 3, d \rangle, \langle 5, b \rangle.$$

Над мультимножествами можно выполнять следующие операции: объединение, пересечение, арифметическая сумма, арифметическая разность, симметрическая разность, дополнение, арифметическое произведение, арифметическая n -я степень, умножение на число и т.д.

В настоящей работе используется представление мультимножеств с помощью векторов. На рисунке 3 показано выполнение операции суммирования мультимножеств, записанных с помощью векторов:

$$\begin{array}{r}
 \\
 a \quad c \quad e \quad g \quad d \quad b \\
 + \quad M \quad (3, \quad 2, \quad 2, \quad 1, \quad 3, \quad 5) \\
 \quad \quad L \quad (0, \quad 2, \quad 0, \quad 0, \quad 1, \quad 7) \\
 \hline
 \\
 (3, \quad 4, \quad 2, \quad 1, \quad 4, \quad 12)
 \end{array}$$

Рис. 3. Пример сложения мультимножеств в векторной форме

Ниже на рисунке 4 показано представление экспертных оценок в виде мультимножеств с помощью векторов и их суммирование. Каждая строка таблицы соответствует мультимножеству.

N	СН 0-4	ГП 0-4	ОП 0-3	ОПв 0-4	В 0-5	С 0-4	ВР 0-3	ФР 0-3
A1	10000	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
A2	00100	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
A3	00010	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
A4	01000	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
B1	10000	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
B2	00100	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
B3	00010	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000
B4	01000	00001	1000	10000	100000	01000	1000	1000
C1	10000	00001	1000	10000	100000	10000	1000	1000

а)

N	Г 0-4	П 0-4	ОП 0-3	ОПв 0-4	В 0-5	С 0-4	ВР 0-3	ФР 0-3
A1	10000	00001	1000	10000	100000	00100	1000	1000
A2	01000	00001	1000	10000	100000	01000	1000	1000
A3	00100	00001	1000	10000	100000	01000	1000	1000
A4	01000	00001	1000	10000	100000	00100	1000	1000
B1	10000	00001	1000	10000	100000	00010	1000	1000
B2	01000	00001	1000	10000	100000	00010	1000	1000
B3	00100	00001	1000	10000	100000	00010	1000	1000
B4	01000	00001	1000	10000	100000	00010	1000	1000
C1	10000	00001	1000	10000	100000	00100	0001	1000

б)

N	СН 0-4	ГП 0-4	ОП 0-3	ОПв 0-4	В 0-5	С 0-4	ВР 0-3	ФР 0-3
A1	20000	00002	2000	20000	200000	10100	2000	2000
A2	01100	00002	2000	20000	200000	11000	2000	2000
A3	00110	00002	2000	20000	200000	11000	2000	2000
A4	02000	00002	2000	20000	200000	10100	2000	2000
B1	20000	00002	2000	20000	200000	10010	2000	2000
B2	01100	00002	2000	20000	200000	10010	2000	2000
B3	00110	00002	2000	20000	200000	10010	2000	2000
B4	02000	00002	2000	20000	200000	01010	2000	2000
C1	20000	00002	2000	20000	200000	10100	1001	2000

в)

Рис. 4. Представление исходных данных для иерархической кластеризации: а) оценка первого эксперта; б) оценка второго эксперта; в) агрегация оценки двух экспертов путем сложения мультимножеств, соответствующих одинаковым пространственным ячейкам

Согласно описанным выше шагам предлагаемого подхода, были рассчитаны расстояния между исходными кластерами (один объект – один кластер) и сформирована матрица расстояний, которая представлена на рисунке 5. Для вычисления расстояний между кластеризуемыми объектами, представленными в виде мультимножеств была использована формула:

$$d_{11}(o_i, o_j) = \sum_{l=1}^n |k_{A_i}(x^l) - k_{A_j}(x^l)|$$

где A_i и A_j – мультимножества, соответствующие объектам o_i и o_j .

При выполнении первого шага предложенного метода производится разбиение объектов методом неиерархической кластеризации FPF (Furthest Point First). Данный метод позволяет получить следующую оценку для значения диаметра разбиения: $D \in [14, 28]$, поскольку найденное значения для параметра d^{FPF} равно 28.

Кластер 1 d=28

Table with 56 columns and 56 rows showing a matrix of values for Cluster 1 (d=28). The rows are labeled A1 through N4 and the columns are labeled A1 through N4.

Кластер 2 d=22

Table with 11 columns and 11 rows showing a matrix of values for Cluster 2 (d=22). The rows are labeled E3 through K4 and the columns are labeled E3 through K3.

Кластер 3 d=24

Table with 10 columns and 10 rows showing a matrix of values for Cluster 3 (d=24). The rows are labeled F2 through J4 and the columns are labeled F2 through J4.

Рис. 6. Результаты применения метода FPF (Furthest Point First)

Значения диаметра меньше 14 попадают в зеленую зону и нас не интересуют, поскольку для соответствующих объектов ограничения вида (d_ij > D) -> (G_i != G_j) вырождается в тождественно истинное утверждения. Значения диаметра больше 28 попадают в красную зону, и для них формируется ограничение cannot-link G_i != G_j. На рисунке 7 показан фрагмент оценки процентного соотношения между объектами, исключаемыми из дальнейшего рассмотрения, и объектами, для которых требуется генерировать либо упрощенное ограничение G_i != G_j, либо ограничение вида (d_ij > D) -> (G_i != G_j). Таким образом, на предварительном этапе нам удалось исключить из рассмотрения 30 процентов ячеек.

Далее опишем второй шаг метода. На втором шаге уточняется верхняя граница интервала для диаметра разбиения. Для этого применяется модифицированный метод иерархической кластеризации мультимножеств КЛАВА-И [2]. В процессе объединения кластеров учитываются ограничения cannot link, то есть, какие пары объектов не попадают в один кластер. То есть, при выборе кластеров для объединения мы не рассматриваем объекты из красной зоны. На каждом шаге иерархической кластеризации красная зона разрастается.

Допустим, если мы объединяем два последних кластера {N1, N3} и {N2, N4}, тогда запрещенные комбинации на объединение каждого из кластеров становятся запретами для итогового кластера {N1, N3, N2, N4}, как это показано на рисунках 8,9.

Кластер 1 d=26

Номер ячейки	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	L1	L2	L3	L4	M1	M2	M3	M4	N1	N2	N3	N4
A1	0	6	6	4	2	6	6	8	2	6	10	8	4	10	14	14	14	12	24	26	10	10	14	18	8	10	14	16	6	8	8	8
A2	6	0	2	4	6	2	4	4	8	4	6	8	8	6	10	14	16	12	22	24	14	8	10	16	12	8	12	12	6	4	6	4
A3	6	2	0	6	6	4	2	6	8	6	4	10	8	8	8	16	16	14	20	26	14	10	12	18	12	10	14	14	8	6	6	6
A4	4	4	6	0	6	4	6	4	6	2	10	4	8	8	14	10	18	8	24	22	14	6	12	14	12	6	12	14	6	6	6	6
B1	2	6	6	6	0	4	4	6	4	4	10	10	4	8	14	14	12	14	22	24	10	8	14	16	6	10	16	14	6	8	8	8
B2	6	2	4	4	0	2	4	8	2	8	8	8	8	6	12	12	16	12	20	22	14	6	18	14	10	8	12	10	6	4	6	4
B3	6	4	2	6	4	0	6	8	4	6	10	8	8	8	16	14	16	14	18	24	14	8	12	16	10	10	14	12	8	6	6	6
B4	8	4	6	4	6	4	0	10	2	8	6	10	2	12	10	14	10	22	20	16	8	14	14	12	8	16	14	8	8	8	8	
C1	2	8	8	6	4	8	8	10	6	8	8	6	2	8	12	12	12	10	22	24	8	8	12	16	6	10	14	14	8	10	10	10
C2	6	4	6	2	4	2	4	2	8	0	10	6	8	4	14	10	16	10	22	20	14	4	12	12	10	6	14	12	6	6	6	6
C3	10	6	4	10	10	8	6	8	8	10	0	8	6	6	4	14	14	10	18	22	12	10	18	12	12	16	14	10	8	8	8	
C4	8	8	10	4	10	8	10	6	6	6	8	0	8	4	12	8	16	6	22	20	14	6	12	14	12	8	14	14	10	10	10	
D1	4	8	8	8	4	8	10	2	8	6	8	0	8	10	14	12	10	22	22	6	8	10	16	6	10	16	14	6	8	8	8	
D2	10	6	8	6	8	6	8	2	8	4	6	4	0	10	12	8	8	20	18	14	4	12	12	10	8	16	12	10	10	10	10	
D3	14	10	8	16	14	12	10	12	14	4	12	10	10	0	12	18	10	16	22	16	14	14	22	16	16	20	18	14	12	12	12	
D4	14	14	16	10	14	12	14	10	14	14	8	14	8	12	8	16	10	14	18	20	18	18	18	16	14	20	18	16	15	15	16	
E1	14	16	16	18	12	16	16	14	12	16	14	16	12	12	18	16	8	18	16	20	16	16	16	14	20	20	16	18	20	20	20	
E2	12	12	14	8	14	12	14	10	10	10	6	10	8	10	10	18	8	20	16	14	10	14	16	12	14	14	12	12	12	12	12	
E3	24	22	20	24	22	20	18	22	22	22	18	22	22	20	16	14	16	20	16	18	18	16	20	22	16	12	22	20	20	20	20	
E4	26	24	26	26	22	24	20	24	20	22	20	22	18	22	18	20	16	16	18	18	12	22	20	20	16	20	16	20	20	20	20	
L1	10	14	14	14	14	14	16	8	14	12	14	6	14	16	10	14	18	18	0	10	10	12	8	12	14	12	8	10	10	10		
L2	10	8	10	6	8	6	8	6	8	4	10	6	8	4	14	10	16	10	18	16	10	0	8	8	6	4	12	8	6	6	6	
L3	14	16	12	14	14	10	14	12	12	10	12	10	12	14	18	20	10	18	18	10	8	0	10	10	10	8	8	6	8	8	8	
L4	18	16	18	14	16	14	16	14	16	16	16	16	12	22	18	16	14	16	12	12	8	8	12	12	8	14	14	14	14	14		
M1	8	12	12	6	10	10	12	6	10	12	6	10	16	16	14	15	20	22	8	6	10	12	0	10	16	12	8	10	10	10		
M2	10	8	10	6	10	8	10	10	6	12	8	10	8	16	14	20	12	22	20	12	4	10	12	10	0	10	12	6	6	6	6	
M3	14	12	14	12	16	12	14	16	14	16	14	16	16	20	20	20	14	15	20	14	12	10	12	16	10	0	4	12	10	12	10	
M4	16	12	14	14	14	10	12	14	14	12	14	14	14	12	18	16	14	12	16	12	8	8	12	12	4	0	12	10	12	10	10	
N1	6	6	6	6	6	8	8	8	6	10	10	6	10	14	16	18	12	22	20	8	6	14	8	6	12	12	0	2	2	2	2	
N2	8	4	6	6	4	6	8	10	6	8	10	8	10	12	16	20	12	20	20	10	6	14	10	6	10	10	2	0	2	0	0	
N3	8	6	6	6	6	8	10	6	8	10	8	10	12	16	20	12	20	10	6	14	10	6	12	12	2	0	2	0	2	0	0	
N4	8	4	6	6	4	6	8	10	6	8	10	8	10	12	16	20	12	20	10	6	14	10	6	10	10	2	0	2	0	0	0	

Кластер 2 d=26

Номер ячейки	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2	K1	K2	K3	K4
F1	0	12	8	16	12	20	14	22	12	18	6	12	14	18
F2	12	0	18	10	24	16	24	18	20	16	14	14	16	14
G1	8	18	0	10	12	18	10	18	12	18	8	14	18	22
G2	16	10	10	0	20	10	20	14	16	12	14	12	20	18
H1	12	24	12	20	0	10	4	12	6	12	14	18	22	26
H2	20	16	18	10	10	0	10	4	8	4	18	14	22	20
I1	14	24	10	20	4	10	0	10	6	12	14	18	22	26
I2	22	18	18	14	12	4	10	0	12	6	22	16	22	20
J1	12	20	12	16	6	8	6	12	0	8	10	14	18	22
J2	18	16	18	12	12	4	12	6	8	0	18	10	18	16
K1	6	14	8	14	14	18	14	22	10	18	0	8	12	16
K2	12	14	14	12	18	14	18	16	14	10	8	0	8	10
K3	14	16	18	20	22	22	22	22	18	18	12	8	0	6
K4	18	14	22	18	26	20	26	20	22	16	16	10	6	0

Кластер 3 d=24

Номер ячейки	F3	F4	G3	G4	H3	H4	I3	I4	J3	J4
F3	0	14	10	18	14	22	14	22	14	22
F4	14	0	12	4	20	10	22	10	20	10
G3	10	12	0	8	12	20	16	16	18	18
G4	18	4	8	0	20	12	24	6	20	10
H3	14	20	12	20	0	12	4	12	6	16
H4	22	10	20	12	12	0	14	4	16	6
I3	14	22	16	24	4	14	0	16	6	16
I4	22	10	16	8	12	4	16	8	14	4
J3	14	20	12	20	6	16	6	14	0	10
J4	22	10	18	10	16	6	16	4	10	0

Рис. 10. Результаты иерархической кластеризации модифицированным методом иерархической кластеризации

Как видно из рисунка 10, после проведения иерархической кластеризации имеем уточненную верхнюю границу интервала для диаметра разбиения: $D \in [14, 26]$.

На рисунке 11 показано, насколько сократилось количество клеток матрицы расстояний, для которых необходимо генерировать более сложные ограничения. Оно уменьшилось на 5,6 процентов.

Синим цветом помечены уточненные в ходе иерархической кластеризации значения диаметров.

Номер группы	А1 А2 А3 А4 В1 В2 В3 В4 С1 С2 С3 С4 D1 D2 D3 D4 E1 E2 E3 E4 F1 F2 F3 F4 G1 G2 G3 G4 H1 H2 H3 H4 I1 I2 I3 I4 J1 J2 J3 J4 K1 K2 K3 K4 L1 L2 L3 L4 M1 M2 M3 M4 N1 N2 N3 N4																																																																	
	A1	6	0	6	6	4	2	6	6	8	2	6	10	8	4	10	14	14	14	17	24	26	16	24	28	28	18	28	18	12	20	26	28	26	28	22	22	26	26	26	22	28	28	22	20	28	26	24	24	28	26	22	20	20	22	14	8	10	16	12	8	12	12	6	4	6

- клетки, для которых не надо генерировать ограничения (26,5%)
- клетки, для которых ограничения имеют упрощенный вид (4,5%+5,6%)
- клетки, для которых надо генерировать ограничения (64,4%)

Рис. 11. Уточнение верхней границы интервала

Заключение

В работе для учета мнений нескольких экспертов используется аппарат мультимножеств и соответствующие способы агрегирования экспертных оценок. Продемонстрировано, каким образом задача Constrained Clustering может быть сведена к задаче удовлетворения ограничений. Разработан метод, который позволяет генерировать ограничения не для всех пар объектов, а лишь для некоторых, основываясь на априорной интервальной оценке для оптимального значения критерия кластеризации. Для получения данной оценки используется метод FPF, а также предложен модифицированный метод иерархической кластеризации мультимножеств, который позволяет анализировать запреты на комбинации объектов внутри кластера. Применение предложенного метода позволяет существенно снизить количество генерируемых ограничений, требуемых для постановки задачи CSP. Так, для рассматриваемого в статье примера количество сгенерированных ограничений равно 1984. Без применения же предложенного метода для решения задачи CSP пришлось бы обработать 3080 ограничений.

Список литературы

1. Duong K.C., Vrain C. Constrained Clustering by Constraint Programming. // Artificial Intelligence Journal, 2017. Vol. 244. Pp. 70–94.
2. Петровский А.Б. Методы групповой классификации многопризнаковых объектов (часть 1) // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009. № 3. С. 3–14.
3. Zuenko A., Oleynik Y., Yakovlev S. and Shemyakin A. Matrix-Like Representation of Production Rules in AI Planning Problems. // Proceedings of the Fourth Int. Scientific Conf. Intelligent Information Technologies for Industry (IITI'19), Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. 2020. Vol. 1156. Pp. 393–402.
4. Gonzalez T. Clustering to minimize the maximum intercluster distance // Theoretical Computer Science, 1985. №38. Pp. 293–306.

References

1. Duong K.C., Vrain C. Constrained Clustering by Constraint Programming. Artificial Intelligence Journal, 2017. Vol. 244. Pp. 70–94.
2. Petrovsky A.B. *Metody gruppovoy klassifikatsii mnogopriznakovykh ob'yektov (chast'1)* [Methods for group classification of multi-feature objects (part 1)]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2009. No. 3. Pp. 3-14. (In Russ.).
3. Zuenko A., Oleynik Y., Yakovlev S. and Shemyakin A. Matrix-Like Representation of Production Rules in AI Planning Problems. Proceedings of the Fourth Int. Scientific Conf. Intelligent Information Technologies for Industry (IITI'19), Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. 2020. Vol. 1156. Pp. 393–402.
4. Gonzalez T. Clustering to minimize the maximum intercluster distance. Theoretical Computer Science, 1985. No. 38. Pp. 293–306.

Сведения об авторах

А. А. Зуенко — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

О. В. Фридман — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

О. Н. Зуенко — аспирант, стажер-исследователь ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

A. A. Zuenko — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

O. V. Fridman — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

O. N. Zouenko — postgraduate, trainee researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 91–103.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 91–103.

Научная статья
УДК 004.832
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.008

Ольга Владимировна Фридман✉

*Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН,
Апатиты, Россия*
ofridman@iimm.ru✉

DATA MINING – МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ, КРАТКИЙ ОБЗОР

Аннотация

В статье приведен краткий обзор методов и алгоритмов Data Mining, которые используются при решении различных задач, где приходится обрабатывать как количественные, так и качественные данные. Целью обзора является краткое описание методов и алгоритмов, а так же перечисление источников, в которых они описаны подробно. Рассмотрены особенности существующих подходов к решению подобных задач, проведен анализ современных методов решения задач Data Mining.

Ключевые слова:

технология Data Mining, формализованные методы, методы неформального анализа, количественный и качественный анализ данных

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00708а.

Для цитирования: Фридман О. В. Data mining – методы и алгоритмы, краткий обзор // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 91–103. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.008>.

Original article

DATA MINING - METHODS AND ALGORITHMS, SUMMARY

Olga V. Fridman✉

Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia
ofridman@iimm.ru✉

Abstract

The article provides a brief overview of Data Mining methods and algorithms which are used in solving various tasks where both quantitative and qualitative data have to be processed. The purpose of the review is a brief description of the methods and algorithms, as well as a list of sources in which they are described in detail. The features of existing approaches to solving such problems are considered, the analysis of modern methods for solving Data Mining problems is carried out.

Keywords:

Data Mining technology, formalized methods, methods of informal analysis, quantitative and qualitative data analysis

Funding

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-07-00708a.

Введение

Data Mining (дословно добыча данных) – на русский язык чаще переводится как «анализ данных». При переводе термина «Data Mining» на русский язык используют различные варианты: добыча данных, извлечение данных, интеллектуальный анализ данных, обнаружение знаний в базах данных и др. По мнению многих авторов не существует «неинтеллектуального» анализа данных, см. например [1]. Методы Data Mining предназначены для обнаружения и обработки знаний и данных в различных предметных областях, которые могут быть использованы при принятии решений.

Data Mining представляет собой совокупность различных методов, таких как классический статистический анализ, корреляционно-регрессионный анализ кластерный анализ и др. и использует современные информационные технологии. Достоинством и привлекательностью методов Data Mining является возможность обработки как количественных, так и качественных данных.

Современные методы Data Mining основаны на теории искусственного интеллекта (ИИ). Их можно подразделить на методы, которые направлены на получение описательных результатов (итеративные методы кластерного анализа, самоорганизующиеся карты Кохонена, методы визуализации) и методы, позволяющие проводить прогнозирование, заполнять «лакуны» в неполных или недостоверных исходных данных. К прогностическим методам относят нейронные сети, деревья решений, линейную регрессию, метод ближайшего соседа, метод опорных векторов и др.

Теперь кратко рассмотрим некоторые методы и алгоритмы Data Mining.

Байесовская классификация

В работе [2] наивные байесовские классификаторы описывают как семейство простых «вероятностных классификаторов», которые применяются на основе теоремы Байеса с независимостью предположений между функциями. Это одни из самых простых байесовских сетевых моделей, которые могут обеспечить высокий уровень точности. Наивный алгоритм Байеса не всегда является собственно байесовским.

В работе [3] описано применение байесовской классификации в экспертных системах. Работа [4] дает представление о «прозрачных» моделях и применении метода для решения задач классификации.

В работе [5] приводятся свойства наивной классификации и достоинства байесовских сетей как метода Data Mining, такие как: интерпретируемость, быстрота, масштабируемость и др.

В работах [4, 6] описаны недостатки Наивного байесовского алгоритма, такие как: сложность в обработке непрерывных переменных (их предварительно необходимо шкалировать), вынужденная избыточность описания значений атрибутов для получения обучающего набора данных, сложность применения для реальных задач из-за невозможности иметь набор функций, полностью независимых друг от друга и др.

Применение наивной байесовской классификации представлено во многих работах, например в [7, 8]. Приведем краткий перечень областей, где этот метод успешно применяется: прогнозирование в реальном времени, классификация текста, фильтрация спама, фильтрация невидимой информации, прогнозирование погоды и др.

Метод опорных векторов

В работе [9] описана группа методов, которая позволяет проводить классификацию при помощи определения границ областей т.н. опорных векторов. К этой группе методов относится метод опорных векторов (Support Vector Machine – SVM). Этот метод позволяет решать задачи бинарной классификации. Согласно [9], метод использует понятие плоскостей решений (plane), при помощи которого объекты, относящиеся к разным классам, отделяются друг от друга т.н. плоскостью решения. При работе метода производится поиск плоскости, разделяющей два множества объектов, относящихся к разным классам. Опорные вектора представляют собой образцы, находящиеся на границах между двумя классами. Классификация считается успешной, если область между границами пуста.

В качестве примера алгоритма, реализующего метод опорных векторов обычно приводят линейный SVM алгоритм (Support Vector Machines). При применении этого алгоритма производится поиск объектов, которые попадают в область вблизи линии разделения (т.е. являются опорными векторами). Между ними вычисляется расстояние и расстояние до разделяющей плоскости, которое называют зазором. Необходимо найти такую гиперплоскость, для которой этот зазор будет максимально большим. Метод успешно применяется при решении задач классификации для линейно разделимых наборов данных, в случае линейной неразделимости исходных наборов данных применяют т.н. алгоритмом с мягким зазором (soft-margin SVM), где позволяют ошибки на обучающей выборке. Недостатком метода является то, что при проведении классификации используется только та часть образцов, которая находится на границах. Достоинством метода является то, что для его работы достаточно небольшого набора исходных данных, что позволяет применять его при решении различных задач, где данные бывают неполными, недостоверными и т.п. [10].

Деревья решений

Деревья решений [9] представляют собой иерархические древовидные структуры, позволяющие автоматически генерировать в процессе обучения на обучающем множестве решающие правила формата «Если ..., то ...», деревья решений являются моделями, строящимися на основе обучения с учителем. Для примеров из обучающего множества задается целевое значение целевой переменной. Если эта целевая переменная является дискретной и представляет собой метку класса, то модель называют деревом классификации, а если непрерывной, то деревом регрессии.

Решающие правила представляются в виде иерархической структуры, состоящей из элементов двух типов – узлов (node), где находятся решающие правила и производится проверка соответствия примеров каждому правилу, и листьев (leaf), определяющих решение для каждого попавшего в лист примера, и представляющих собой либо класс, ассоциируемый с узлом (для дерева

классификации), либо соответствующий листу интервал целевой переменной (для дерева регрессии). Путь в дереве к каждому листу единственный, соответственно каждый пример из обучающего множества может попасть только в один лист, что обеспечивает единственность решения.

В работах [11, 12] были сформулированы идеи, послужившие основой для деревьев решений. Далее развитие деревьев решений пошло по пути разработки алгоритмов: разработан алгоритм ID3 (Iterative Dichotomizer 3). Этот алгоритм предназначен для работы с дискретной целевой переменной, поэтому как указано выше, деревья решений, построенные с помощью данного алгоритма, являются классифицирующими. В дальнейшем разработаны усовершенствованные модификации этого алгоритма C4.5 и C5.0 [13], в которые добавлена возможность работы с пропущенными значениями атрибутов. Далее был предложен алгоритм CART (Classification and Regression Tree), алгоритм обучения деревьев решений, использующий и дискретную и непрерывную целевые переменные, таким образом этот алгоритм позволяет решать как задачи классификации, так и регрессии [14].

Недостатком метода деревьев решений является то, что результат его работы зависит как от выбора алгоритма, так и от набора исследуемых данных. Для того, чтобы построить качественную модель, необходимо изначально понимать взаимосвязи между переменными (что всегда является трудной задачей) и располагать достаточным набором данных.

Деревья решений применяются при анализе данных и машинном обучении, для поддержки процессов принятия управленческих решений, используемая в статистике и др.

Методы кластерного анализа

Кластерный анализ является одним из популярных методов Data Mining. Этот метод предназначен для разбиения множества исходных данных на группы (кластера), таким образом, чтобы элементы, входящие в одну группу, были однородными (максимально «схожими»), а элементы из разных групп были разнородными (максимально «отличными» друг от друга).

Методы кластерного анализа можно разделить на *иерархические* при работе которых происходит последовательное объединение меньших кластеров в большие (агломеративные алгоритмы) или разделении больших кластеров на меньшие (дивизимные алгоритмы), и *неиерархические* методы, которые применяются при большом количестве наблюдений. Эти методы используют итеративные процедуры разделения исходной совокупности данных. Новые кластеры будут формироваться до тех пор, пока не будет выполнено некоторое заранее заданное правило остановки.

Для разбиения массива исходных данных на кластера используют различные «метрики» (меры близости объектов). Выбор метрики изначально является субъективным решением исследователя, что является как преимуществом, так и недостатком кластерного анализа.

Перечислим наиболее популярные метрики, используемые в иерархических методах кластерного анализа: расстояние ближайшего соседа есть расстояние между ближайшими объектами кластеров, расстояние дальнего соседа – расстояние между самыми дальними объектами кластеров, расстояние между центрами тяжести – расстояние между центральными точками кластеров,

квадрат евклидова расстояния, Манхэттенское расстояние, расстояние Чебышева и др.

Наиболее часто используемыми иерархическими алгоритмами кластерного анализа являются, например Метод Варда (Ward's method), который описан в работе [15], метод невзвешенного попарного среднего (метод невзвешенного попарного арифметического среднего – unweighted pair-group method using arithmetic averages) UPGMA, представленный в работе [16], метод взвешенного попарного среднего (метод взвешенного попарного арифметического среднего - weighted pair-group method using arithmetic averages) WPGMA [16], невзвешенный центроидный метод (метод невзвешенного попарного центроидного усреднения – unweighted pair-group method using the centroid average) [16], взвешенный центроидный метод (метод взвешенного попарного центроидного усреднения – weighted pair-group method using the centroid average) WPGMC [16] и др.

Если количество наблюдений является большим, то иерархические методы кластерного анализа не могут быть использованы. В таких случаях используют неиерархические методы.

В работе [17] приведено наиболее полное описание алгоритма k -средних (k -means), который также называют быстрым кластерным анализом. Так же, стоит упомянуть алгоритм *РАМ* (partitioning around Medoids), который является модификацией алгоритма k -средних, алгоритмом k -медианы (k -medoids).

Даже из названий алгоритмов следует, что основное различие между ними состоит в использовании различных межклассовых и внутриклассовых расстояний.

В работе [18] представлены алгоритмы кластеризации, способные обрабатывать сверхбольшие базы данных. В настоящее время разработаны алгоритмы, в которых методы иерархической кластеризации сочетаются с другими методами. К таким алгоритмам относятся: BIRCH [19], WaveCluster [20], Алгоритм Clarans (Clustering Large Applications based upon RANdomized Search) [21], алгоритм DBScan [22] и др. Недостатком этих алгоритмов является то, что упомянутые алгоритмы требуют больших вычислительных ресурсов [23], так как обрабатывают большие объемы данных.

Большинство современных пакетов прикладных программ для статистической обработки многомерных данных включают в себя различные методы кластерного анализа.

Ассоциативные правила

В настоящее время метод поиска ассоциативных правил является одним из методов Data Mining, предназначенным для обнаружения знаний, применение алгоритмов которого дает возможность производить поиск в базах данных.

По аналогии с представлением знаний в базах знаний продукционных экспертных систем, ассоциативное правило имеет вид: «ЕСЛИ имеет место событие A , ТО из этого следует событие B », то есть формулируется на языке, близком к естественному и интуитивно понятным образом. Таким образом, подобное правило для базы данных можно переформулировать в виде: «Если в транзакции имеется набор элементов A , то в этой же транзакции должен появиться набор элементов B ». Проведение такого анализа позволяет находить правила, которые называют ассоциативными и являются простыми и понятными.

В методе поиска ассоциативных правил используются понятия поддержки, которое является мерой надежности, с которой ассоциативное правило выражает ассоциативную связь между условием и следствием, и достоверности – это показатель, характеризующий уверенность в том, появление события *A* влечёт за собой появление события *B*. При применении алгоритмов поиска ассоциативных правил находятся все правила, для которых эти показатели должны быть выше некоторых заранее заданных порогов (минимальной поддержки и минимальной достоверности).

Приведем краткое описание некоторых алгоритмов поиска ассоциативных правил.

Алгоритм AIS. считается первым алгоритмом поиска ассоциативных правил [24, 25]. В этом алгоритме во время сканирования базы данных генерируются множества наборов посылок и следствий, которые служат материалом для формирования ассоциативных правил.

Алгоритм SETM. Отличается от алгоритма AIS тем, что при его создании использован язык SQL. Так же как и в алгоритме AIS, формируются наборы наборов посылок и следствий на основе преобразований базы данных. Недостатком обоих алгоритмов является избыточное генерирование наборов, частота встречаемости которых оказывается низкой.

Алгоритм *Apriori* [26] был создан, чтобы устранить этот недостаток. Алгоритм *Apriori* уменьшает количество наборов, (априори) отсекая наборы с низкой частотой встречаемости. Это процедура основана на предположении, что у набора с высокой частотой встречаемости все подмножества так же должны иметь высокую частоту встречаемости. Поэтому, если в наборе находится хотя бы одно подмножество, частота встречаемости которого была определена как низкая, этот набор уже не включается в рассмотрение. Разновидности алгоритма *Apriori*, такие как *AprioriTID* и *AprioriHybrid*, были предложены как развитие исходного алгоритма.

В дальнейшем были разработаны алгоритмы, усовершенствующие алгоритм *Apriori*: алгоритм *DHP*, который называют алгоритмом хеширования [27], где сокращение обеспечивается за счет того, что каждый из наборов-кандидатов помимо шага сокращения проходит шаг хеширования; алгоритм *PARTITION*, где при сканировании транзакционной базы данных производится ее разделение на непересекающиеся разделы [28, 29]; алгоритм *DIC* (Dynamic Itemset Counting), где база данных разбивается на несколько блоков и затем циклически сканируется [30].

Алгоритмы ассоциативных правил нашли применение в различных предметных областях, например: в розничной торговле – для выявления групп покупателей и общих характеристик клиентов компании, определения товаров, которые стоит продвигать, прогнозирования спроса, анализа потребительской корзины, в маркетинге – для поиска рыночных сегментов, тенденций покупательского поведения, при проведении анализа Web-логов и т.п.

Анализ формальных понятий

Анализ формальных понятий (АФП) является разновидностью формального концептуального анализа (Formal Concept Analysis, FCA), это раздел теории решеток, применяемый для решения прикладных задач [31]. Его можно использовать для анализа простых таблиц объектов атрибутов (называемых

контекстом в FCA) и изучения различных зависимостей между атрибутами. АФП является одной из популярных алгебраических парадигм для представления и анализа объектно-признаковых данных со множеством приложений в майнинге данных, машинном обучении, интернет-математике, информационном поиске, анализе социальных сетей и эпистемических сообществ, криминалистике, информационной безопасности, в онтологическом моделировании и представлении знаний и др. [31]. В работе [32] сформулированы основные идеи АФП, а наиболее полное изложение по АФП приведено в [33].

Модели представления, выявления и интенсивной обработки знаний описываются в работе [34], в [35] описано применение АФП в научно-исследовательских и промышленных проектах. В работе [36] описаны связи АФП с нахождением ассоциативных правил, машинным обучением, теорией «грубых» и нечётких множеств и другими. В работе [37] описывается применение АФП при построении онтологий и использованием онтологий в приложениях АФП. В работе [38] показано, как метод АФП может быть использован для пополнения баз знаний, а в работе [39], как и в [37], описано применение АФП для построения онтологий. В работе [40] описан подход прототипирования в онтологической инженерии и предлагается использовать АФП для построения небольших персональных и специальных онтологий. В работе [41] описан подход к определению концептуальной устойчивости для построения таксономий пользователей веб-сайтов с использованием АФП.

Объектно-признаковые зависимости могут быть визуализированы с использованием метода АФП при помощи диаграммы решётки формальных понятий [31]. Основой решёток формальных понятий является соответствие Галуа, которое задается на множестве объектов и признаков и обладает свойством уменьшения объёма с ростом содержания [42].

АФП является популярной алгебраической парадигмой для представления и анализа объектно-признаковых данных со множеством приложений в майнинге данных, машинном обучении, Интернет-математике, информационном поиске, анализе социальных сетей и эпистемических сообществ, криминалистике, информационной безопасности др.

Заключение

Проведен краткий обзор методов и алгоритмов Data Mining, проанализированы их достоинства и недостатки. Целью обзора является краткое описание методов и алгоритмов, а также перечисление источников, в которых они описаны подробно. Рассмотрены особенности существующих подходов к решению задач, требующих обрабатывать как количественные, так и качественные данные, проведен анализ современных методов решения задач Data Mining. Описанные в статье методы Data Mining применялись при решении прикладных задач в ходе выполнения работ по темам НИР ИИММ КНЦ РАН. Кроме описанных методов, были апробированы и другие методы Data Mining, в частности нейронные сети, иерархические методы кластерного анализа и др., применение которых дало лишь предварительные результаты.

Для проведения исследований необходимо применять программные реализации методов Data Mining, такие как SPSS, SAS, STATGRAPHICS, Statistica, др. Эти программные продукты предоставляют возможность реализации набора методов Data Mining, что позволяет сравнить полученные

результаты и выбрать наиболее приемлемый. При проведении исследований использовались такие программные приложения как Statistica (кластерный анализ, деревья решений, нейронные сети), Обозреватель концепций ConExp (анализ формальных понятий, поиск ассоциативных правил) и др.

Методы Data Mining широко применяются в группах бизнес-аналитики и анализа данных, помогая извлекать знания для решения прикладных задач в различных отраслях, таких как продажи и маркетинг, образование, интеллектуальный анализ процессов (Process Mining) и др. Большинство исследователей, применяющих в работе методы Data Mining отмечают, что их достоинствами являются точность, проверяемость, быстрота, интерпретируемость, масштабируемость и наглядное представление результатов вычислений. Наличие этих достоинств объясняет популярность методов Data Mining.

Список литературы

1. Дьяконов А. Г. Некоторые задачи дискретной математики, возникающие в современных приложениях при анализе данных // *Spectral and Evolution Problems*, 2012. т. 22. С. 66–75.
2. Щавелёв Л. В. Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений СУБД // *Системы управления базами данных*, 1998. № 4–5.
3. Chickering D., Geiger D., Heckerman D. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data *Machine Learning*. 1995. № 20. Pp. 197–243.
4. Heckerman D. Geiger D., Chickering D.M. Learning Bayesian networks: the combination of knowledge and statistical data. *Machine Learning*, 1995. № 20. Pp. 131–163.
5. Heckerman D. Bayesian Networks for Data Mining *Data Mining and Knowledge Discovery*. 1997. № 1. Pp. 79–119.
6. Friedman N., Geiger D., Goldszmidt M. Bayesian Network Classifiers *Machine Learning*. 1997. № 29. Pp. 131–165.
7. Минский М. Шаги к искусственному интеллекту // *Proceedings of the IRE*. 1961. № 49. С. 8–30.
8. Mehta M., Shafer J., Agrawal R. SPRINT: A Scalable Parallel Classifier for Data Mining // *Proceedings of the 22nd Int'l Conf. Very Large Data Bases*, Morgan Kaufmann, San Francisco. 1996, Pp. 544–555.
9. Чубукова И. Data Mining [Электронный ресурс] // *НОУ ИНТУИТ* [NOU INTUIT], URL <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p1>. (дата обращения: 18.11.2021).
10. V. Scholkopf, G. Ratsch, K. Muller, K. Tsuda, S. Mika An Introduction to Kernel-Based Learning Algorithms // *Proceedings of the IEEE Neural Networks*, 2001. № 12(2). Pp. 181–201.
11. Hovland C. I. Computer simulation of thinking. *American Psychologist*, 1960. № 15(11). Pp. 687–693.
12. Hunt Earl B., Janet Marin, Philip J. Stone. *Experiments in Induction*. New York: Academic Press. 1966. ISBN 978-0-12-362350-8.
13. Quinlan J. R. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1986. № 1(1). Pp. 81–106.

14. Quinlan J. Ross. C4.5: Programs for Machine learning. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
15. Муртаг Ф., Лежандр П. Метод иерархической агломеративной кластеризации Уорда: какие алгоритмы реализуют критерий Уорда? // J Classif, 2014. № 31. Pp. 274–295.
16. Sneath P. H. A. and Sokal R. R. Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification. San Francisco: Freeman, 1973. 573 pp.
17. Hartigan J.A. and Wong M.A. Algorithm AS 136 A K-Means Clustering Algorithm // Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 1979. № 28. Pp. 100–108.
18. Ганти В., Герке Й., Рамакришнан Р. Добыча данных в сверхбольших базах данных // Открытые системы, 1999. № 9–10.
19. Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M. BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases // Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '96. 1996.
20. Факторный дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. А. М. Хотинского, С. Б. Королева; Под ред. И. С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
21. Мусаев А.А Алгоритмы аналитического управления производственными процессами // Автоматизация в промышленности, 2004. № 1. С. 30–35.
22. Swami A., Agrawal R., Imielinski T. Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases // Proceedings of the ACM-SIGMOD 1993 Int'l Conference on Management of Data, Washington D.C., 1993.
23. Agrawal R., Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules // Proceedings of the 20th Int'l Conference on Very Large Databases, Santiago, Chile, 1994.
24. Savasere A., and Navathe S., Omiecinski E. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Databases // Proceedings of the 21st Int'l Conf. Very Large Data Bases, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995. Pp. 432–444.
25. Savasere A., and Navathe S., Omiecinski E. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Databases // Proceedings of the 21st Int'l Conf. Very Large Data Bases, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995. Pp. 432–444.
26. Brin S. et al. Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data // Proceedings of the ACM SIGMOD Int'l Conf. Management of Data, ACM Press, New York, 1997. Pp. 255–264.
27. Chen M., Park J. and Yu P. Efficient data mining for path traversal patterns // IEEE, Transactions on knowledge and data engineering, 1998. Pp. 209–221.
28. Savasere A., Omiecinski E., and Navathe S. An efficient algorithm for mining association rules in large databases // Proceedings of the 1995 Int. Conf. Very Large Data Bases (VLDB'95), Google Scholar, Zurich, Switzerland, 1995. Pp. 432–443.
29. Chernoff H. The Use of Faces to Represent Points in K-Dimensional Space Graphically // Journal of American Statistical Association, 1973. № 68. Pp. 361–368.
30. Brin S., Motwani R., Ullman J.D. and Tsur, S. Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data // Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD 1997), Tucson, 13-15 May, 1997, Pp. 265–276.
31. Игнатов Д.И. Анализ формальных понятий: от теории к практике // Доклады всероссийской научной конференции АИСТ'12 «Анализ изображений, сетей и

- текстов. Модели, алгоритмы и инструменты анализа данных; результаты и возможности для анализа изображений, сетей и текстов». Екатеринбург, Открытые системы, 2012. С. 3–15.
32. Wille R. Restructuring Lattice Theory: an Approach Based on Hierarchies of Concepts // *Ordered Sets*, Ed. by I. Rival. Dordrecht, Boston: Reidel, 1982. Pp. 445–470.
 33. Ganter B., Wille R. *Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations* // Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 1999.
 34. Игнатов Д.И., Кононыхина О.Н. Решетки формальных понятий для анализа данных социологических опросов // *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов V-й Международной научно-технической конференции*. М.: Физматлит, 2009. Т1. 546 с.
 35. Hereth J., Stumme G. *Advances in Formal Concept Analysis for Knowledge Discovery in Databases*, Seite 1-2. Lyon, France, 2002.
 36. Doerfel S., Jäschke R., and Stumme G. *Formal Concept Analysis*, of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Berlin/Heidelberg, Springer, 2012. vol. 7278. Pp. 77–95.
 37. Cimiano P., Hotho A., Stumme G., Tane J. *Conceptual Knowledge Processing with Formal Concept Analysis and Ontologies* // *Proceedings of the The Second International Conference on Formal Concept Analysis ICFCA 04*, Springer, 2004. vol. 2961.
 38. Baader F. and Sertkaya B. Applying formal concept analysis to description logics. In P. Eklund editor // *Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Concept Analysis (ICFCA 2004)*, of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, 2004. vol. 2961. Pp. 261–286.
 39. Cimiano P., Hotho A. & Staab S. Learning Concept Hierarchies from Text Corpora using Formal Concept Analysis // *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2005. № 24. Pp. 305–339.
 40. Richards D. Ad-Hoc and Personal Ontologies: A Prototyping Approach to Ontology Engineering. A. Hoffmann et al. (Eds.): PKAW, LNAI, Springer, 2006. vol. 4303. Pp. 13–24.
 41. Kuznetsov S., Ignatov D. Concept Stability for Constructing Taxonomies of Website Users // *Proceedings of the Satellite Workshop "Social Network Analysis and Conceptual Structures: Exploring Opportunities"* at ICFCA'07, Clermont-Ferrand, France, 2007. Pp. 19–24.
 42. Бернхард Г., Штумме Г. Анализ формальных понятий: основы и приложения, Лекционные заметки по искусственному интеллекту, Springer-Verlag, под ред. Р.Вилле, 2005. № 3626. ISBN 3-540-27891-5.

References

1. Diakonov A. G. *Necotoria zadachi discrete mathematics, vznikayushchie v sovremennykh prilozheniyakh pri analysis dannykh* [Some problems of discrete mathematics, arising in modern applications in data analysis]. *Spectral and Evolution Problems*, 2012, Vol. 22, pp. 66–75. (In Russ.).
2. Shchhavelev L. V. *Sposobidae analytical obrabotki dannykh dla podderzki prinyatiya reshenii subd* [Methods of analytical processing of data for support of decision-making DBMS]. *Systems upravleniya bazami dannykh*, 1998, No. 4–5. (In Russ.).

3. Chickering D., Geiger D., Heckerman D. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data *Machine Learning*. 1995, No. 20. pp. 197–243.
4. Heckerman D. Geiger D., Chickering D.M. Learning Bayesian networks: the combination of knowledge and statistical data. *Machine Learning*, 1995, No. 20, pp. 131–163.
5. Heckerman D. Bayesian Networks for Data Mining *Data Mining and Knowledge Discovery*. 1997, No. 1, pp. 79–119.
6. Friedman N., Geiger D., Goldszmidt M. Bayesian Network Classifiers *Machine Learning*. 1997, No. 29, pp. 131–165.
7. Minsky M. *Shaghi k iskusstvennomu intelektu* [Steps to Artificial Intelligence]. Proceedings of the IRE. 1961, No. 49, pp. 8–30. (In Russ.).
8. Mehta M., Shafer J., Agrawal R. SPRINT: A Scalable Parallel Classifier for Data Mining. Proceedings of the 22nd Int'l Conf. Very Large Data Bases, Morgan Kaufmann, San Francisco. 1996, pp. 544–555.
9. Chubukova I. *Data Mining* [Data Mining]. *NOU INTUIT* [NOU INTUIT], Available at <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p1>. (accessed 18.11.2021).
10. B. Scholkopf, G. Ratsch, K. Muller, K. Tsuda, S. Mika An. Introduction to Kernel-Based Learning Algorithms. Proceedings of the IEEE Neural Networks, 2001, No. 12(2), pp. 181–201.
11. Hovland C. I. Computer simulation of thinking. *American Psychologist*, 1960, No. 15(11), pp. 687–693.
12. Hunt Earl B., Janet Marin, Philip J. Stone. *Experiments in Induction*. New York: Academic Press, 1966.
13. Quinlan J. R. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1986, No. 1(1), pp. 81–106.
14. Quinlan J. Ross. *C4.5: Programs for Machine learning*. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
15. Murtag F., Legendre P. *Method ierarchical aglomerative klasterization Whard: kakie algorithms realizuyut kriterius Wharda?* [Ward's method of hierarchical agglomerative clustering: which algorithms implement Ward's criterion?]. *J Classif*, 2014, No. 31, pp. 274–295. (In Russ.).
16. Sneath P. H. A. and Sokal R. R. *Numerical Taxonomy: The Principles and Praticce of Numerical Classification*. San Francisco: Freeman, 1973, 573 p.
17. Hartigan J.A. and Wong M.A. Algorithm AS 136 A K-Means Clustering Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 1979, No. 28, pp. 100–108.
18. Ganti V., Gerke Y., Ramakrishnan R. *Dobycha dannykh vie supercollus bazakh dannykh* [Data Mining in Ultra-Large Databases]. *Open Systems*, 1999, No. 9–10. (In Russ.).
19. Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M. BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases. Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '96, 1996.
20. *Factor discriminant i klasterny analysis* [Factor discriminant and cluster analysis]. Moscow, Finansy i statistik, 1989. 215 p. (In Russ.).
21. Musaev A.A. *Algorithms analytical upravlenia proizvodstvennymi protsessamy* [Algorithms of analytical management of production processes]. *Automation in industry*, 2004, No. 1, pp. 30–35. (In Russ.).

22. Swami A., Agrawal R., Imielinski T. Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases. Proceedings of the ACM-SIGMOD 1993 Int'l Conference on Management of Data, Washington D.C., 1993.
23. Agrawal R., Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules. Proceedings of the 20th Int'l Conference on Very Large Databases, Santiago, Chile, 1994.
24. Savasere A., and Navathe S., Omiecinski E. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Database. Proceedings of the 21st Int'l Conf. Very Large Data Bases, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995, pp. 432–444.
25. Savasere A., and Navathe S., Omiecinski E. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Databases. Proceedings of the 21st Int'l Conf. Very Large Data Bases, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995, pp. 432–444.
26. Brin S. et al. Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data. Proceedings of the ACM SIGMOD Int'l Conf. Management of Data, ACM Press, New York, 1997, pp. 255–264.
27. Chen M., Park J. and Yu P. Efficient data mining for path traversal patterns. IEEE, Transactions on knowledge and data engineering, 1998, pp. 209–221.
28. Savasere A., Omiecinski E., and Navathe S. An efficient algorithm for mining association rules in large databases. Proceedings of the 1995 Int. Conf. Very Large Data Bases (VLDB'95), Google Scholar, Zurich, Switzerland, 1995, pp. 432–443.
29. Chernoff H. The Use of Faces to Represent Points in K-Dimensional Space Graphically. Journal of American Statistical Association, 1973, No. 68, pp. 361–368.
30. Brin S., Motwani R., Ullman J.D. and Tsur, S. Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD 1997), Tucson, 13-15 May, 1997, pp. 265–276.
31. Ignatov D.I. *Analysis formalnykh ponyatyi: ot theory k practice* [Analysis of formal concepts: from theory to practice]. *Doklady vserossiyskoy nauchnoy konferentsii AIST'12 "Analiz izobrazheniy, setey i tekstov. Modeli, algoritmy i instrumenty analiza dannykh; rezul'taty i vozmozhnosti dlya analiza izobrazheniy, setey i tekstov"*. [Reports of the All-Russian scientific conference AIST'12."Analysis of images, networks and texts. Models, algorithms and data analysis tools; results and capabilities for the analysis of images, networks and texts"]. Ekaterinburg, Open Systems, 2012, pp. 3–15. (In Russ.).
32. Wille R. Restructuring Lattice Theory: an Approach Based on Hierarchies of Concepts. Ordered Sets, Ed. by I. Rival. Dordrecht, Boston: Reidel, 1982, pp. 445–470.
33. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 1999.
34. Ignatov D.I., Kononykhina O.N. *Reshetki formalnykh ponyatyi dlya analysis dannykh sotsiologicheskoy oprosov* [Lattices of formal concepts for the analysis of sociological survey data]. Integrated models and soft calculations in artificial intelligence. Collection of scientific works of the V-th International Scientific and Technical Conference. Moscow, Fizmatlit, 2009, Vol. 1, 546 p. (In Russ.).
35. Hereth J., Stumme G. *Advances in Formal Concept Analysis for Knowledge Discovery in Databases*. Seite 1-2. Lyon, France, 2002.
36. Doerfel S., Jäschke R., and Stumme G. Formal Concept Analysis, of Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin/Heidelberg, Springer, 2012, Vol. 7278, pp. 77–95.

37. Cimiano P., Hotho A., Stumme G., Tane J. Conceptual Knowledge Processing with Formal Concept Analysis and Ontologies. Proceedings of the The Second International Conference on Formal Concept Analysis ICFCA 04, Springer, 2004, Vol. 2961.
38. Baader F. and Sertkaya B. Applying formal concept analysis to description logics. In P. Eklund editor. Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Concept Analysis (ICFCA 2004), of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2004, Vol. 2961, pp. 261–286.
39. Cimiano P., Hotho A. & Staab S. Learning Concept Hierarchies from Text Corpora using Formal Concept Analysis. Journal of Artificial Intelligence Research, 2005, No. 24, pp. 305–339.
40. Richards D. Ad-Hoc and Personal Ontologies: A Prototyping Approach to Ontology Engineering. PKAW, LNAI, Springer, 2006, Vol. 4303, pp. 13–24.
41. Kuznetsov S., Ignatov D. Concept Stability for Constructing Taxonomies of Website Users. Proceedings of the Satellite Workshop "Social Network Analysis and Conceptual Structures: Exploring Opportunities" at ICFCA'07, Clermont-Ferrand, France, 2007, pp. 19–24.
42. Bernhard G., Stumme G. *Analiz formal'nykh ponyatiy: osnovy i prilozheniya, Lektsionnyye zametki po iskusstvennomu intellektu* [Analysis of formal concepts: foundations and applications, Lecture notes on artificial intelligence], Springer-Verlag, ed. by R. Wille, 2005, No. 3626. (In Russ.).

Сведения об авторе

О.В. Фридман — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the author

O.V. Fridman — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 104–116.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 104–116.

Научная статья
УДК 519.711, 004.94
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.009

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дарья Николаевна Халиуллина^{1✉}, Виталий Викторович Быстров²

^{1, 2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *khaliullina@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>

² *bystrov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

Аннотация

Статья посвящена развитию концепции управления региональной безопасностью на основе принципов обеспечения жизнеспособности критических инфраструктур. Статья носит постановочный характер и рассматривает общие теоретические вопросы из области жизнеспособности сложных систем. Авторы выделяют два основных подхода к модели представления системы региональной безопасности с позиции обеспечения ее жизнеспособности.

Ключевые слова:

критическая инфраструктура, жизнеспособность критических инфраструктур, региональная безопасность, кадровая безопасность

Финансирование

Статья выполнена по теме государственного задания № 0226-2019-0035 Министерства науки и высшего образования РФ.

Для цитирования: Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Жизнеспособность критических инфраструктур региональной безопасности // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 104–116. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.009>.

Original article

RESILIENCE OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF REGIONAL SECURITY

Darya N. Khaliullina^{1✉}, Vitaliy V. Bystrov²

^{1, 2} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *khaliullina@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>

² *bystrov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

Abstract

The article is devoted to the development of the concept of regional security management based on the principles of ensuring the resilience of critical infrastructures. The article is a problem statement and considers general theoretical issues in the field of resilience of complex systems. The authors identify two main approaches to the model of representation of the regional security system from the perspective of ensuring its resilience.

Keywords:

critical infrastructure, critical infrastructure resilience, regional security, personnel security

Funding

The article was written on the topic of state assignment No. 0226-2019-0035 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Khaliullina D. N., Bystrov V. V. Resilience of critical infrastructure of regional security // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 104–116. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.009>.

Введение

Несмотря на большое количество исследований в области регионального развития не перестают быть актуальными вопросы, связанные с обеспечением безопасности региональных социально-экономических систем. В западной научной литературе наблюдается тренд в изменении представления к управлению сложными социально-экономическими системами, заключающийся в переходе от модели устойчивого развития к модели жизнеспособности систем.

В рамках данного исследования предполагается развитие теоретических методов и программных средств информационно-аналитической поддержки и управления жизнеспособностью региональных социально-экономических систем. По мнению авторов, необходимо из всего множества социально-экономических систем, влияющих на региональную безопасность, выделить подмножество систем, которые являются критически важными. Для реализации данной задачи предлагается воспользоваться принципами теории управления критическими инфраструктурами (КИ).

1. Понятие критической инфраструктуры

В научном мире понятие «критической инфраструктуры» появилось не так давно (в середине 90-х годов прошлого столетия) в США, но на сегодняшний день универсального определения данного термина так и не выработано. В различных документах приводятся близкие формулировки, но с ограничением под конкретную область исследования:

1. Согласно одному из определений в качестве КИ могут выступать «физические или виртуальные системы и активы, которые настолько жизненно важны для Соединенных Штатов, что частичное или полное нарушение их работоспособности негативным образом скажется на кибербезопасности, национальной экономической безопасности, здоровье или безопасности граждан» [1].

2. В Директиве совета ЕС понятие критической инфраструктуры определяется как «актив, система или ее часть, расположенная в государствах-членах ЕС, которая имеет ключевое значение для поддержания жизненно важных социальных функций, здоровья, безопасности, защиты, экономического или социального благополучия людей, нарушение или уничтожение которых может оказывать значительное влияние на государство-член ЕС в результате невыполнения этих функций» [2].

3. «Критически важный объект инфраструктуры Российской Федерации – объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны, субъекта Российской Федерации либо административно-территориальной единицы или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный срок» [3].

Анализ приведенных формулировок позволяет сделать вывод о том, что критическая инфраструктура представляет собой многокомпонентную распределенную биогеотехническую систему [4], состоящую из множества взаимозависимых подсистем (System of systems), нарушение работоспособности хотя бы одной из которых может привести к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, входящего в КИ, и оказать

значительное влияние на функционирование других подсистем и на жизнеспособность КИ в целом.

2. Представление критических инфраструктур

Сложность критических инфраструктур как объекта исследования накладывает свою специфику на их модель представления. Среди большого разнообразия подобного рода моделей можно условно выделить три категории:

1. Сетевое представление.
2. Представление в виде иерархических структур.
3. Гибридное представление.

Как наиболее распространенное средство описания вышеперечисленных моделей используются конструкции из теории графов. Это позволяет наглядно представить комплексные взаимосвязи между объектами и разработать математические выражения для описания уровня взаимодействия и взаимозависимости [5].

Одним из возможных способов представления КИ является описание ее в виде сети взаимосвязанных определенным образом объектов, из которых можно выделить ограниченное число наиболее важных, например, как предлагается поступить в теории центров тяжести. Такой подход был описан в [6] и позволяет не только разрабатывать методы выявления критически важных объектов (центров тяжести) инфраструктур, но и определять возможные меры и способы воздействия на них. Согласно данной теории формирование таких центров происходит под воздействием экономических законов, законов социального развития, и других правил, в результате чего из неструктурированных объектов создаются самоорганизующиеся сети. В этих сетях в качестве центра будет выступать узел с наибольшим количеством связей (при этом таких узлов может быть несколько).

В качестве примера использования иерархического представления критической инфраструктуры можно привести метод анализа иерархий [7]. Суть данного подхода заключается в организации последовательного разбиения проблемы на более простые ее составляющие с воспроизведением цепочки рассуждений лица, принимающего решения (ЛПР). Рассуждения ЛПР затрагивают вопросы влияния факторов нижнего уровня иерархии на фактор верхнего уровня на основе шкалы относительной важности факторов.

Рассмотренные подходы к моделям представления критических инфраструктур в большей своей части используются для создания специальных программных средств для исследования сложных систем [8]. В частности, некоторые программные продукты построены на базе имитационных моделей критических инфраструктур. Такие модели позволяют определять взаимосвязи между объектами КИ и выявлять наиболее уязвимые из них. Так, например, «Система моделирования критических инфраструктур» (Critical Infrastructure Interdependency Modeling - CIMS) использует агентное моделирование, что позволяет исследовать адаптационные возможности разрабатываемой системы за счет оперативного изменения ее состояния при влиянии на нее различных факторов [9].

В рамках текущего исследования планируется также создать комплекс имитационных моделей жизнеспособности критических инфраструктур региональной безопасности. Они послужат фундаментом для разработки

проблемно-ориентированной системы поддержки принятия решений в области управления региональной безопасностью с точки зрения жизнеспособности критических инфраструктур.

3. Жизнеспособность критических инфраструктур

Традиционно, критическая инфраструктура представляет собой большую сложную систему и обладает определенными свойствами [10,11]:

1. система содержит неограниченное количество варьируемых объектов и параметров;
2. высокая сложность прогнозирования поведения объектов с большим количеством взаимосвязей.

Важно отметить, что нарушение работоспособности одной из подсистем КИ может привести к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, входящего в КИ, и оказать значительное влияние на функционирование других подсистем, а также на всю критическую инфраструктуру в целом. В связи с этим возникает задача обеспечения жизнеспособности и бесперебойной работы критической инфраструктуры.

Подходя к вопросу жизнеспособности критических инфраструктур, можно сделать вывод об отсутствии универсального определения данного понятия. В различных работах жизнеспособность КИ рассматривается как:

1. способность системы противостоять воздействию природного или социального события, если речь идет о социальной или экологической системе [12];
2. способность системы реагировать и восстанавливаться после разрушительного воздействия реализованных опасностей [13];
3. способность системы к обновлению, реорганизации и развитию [14].

Данные определения жизнеспособности КИ отражают различные аспекты функционирования критической инфраструктуры. Для одних авторов система должна быть готова противостоять внешним воздействиям, для других – не только реагировать на эти воздействия, но и иметь возможность восстановиться после них, а для третьих – в системе должна быть заложена возможность реорганизоваться и продолжать свое развитие.

Проведенный анализ работ по исследованию жизнеспособных систем (ЖС) позволяет определить свойства, характерные для жизнеспособных КИ:

1. Любая ЖС, в том числе и жизнеспособная критическая инфраструктура (ЖКИ) является целостным, единым организмом, функционирование которой направлено на достижение определенной цели.
2. Внутренняя структура жизнеспособной критической инфраструктуры является сложной, многоуровневой.
3. Согласно предложенной С. Биром [15] модели жизнеспособной системы (VSM – Viable System Model) для ЖКИ характерно наличие рекурсивности, то есть жизнеспособная критическая инфраструктура содержит в себе другие ЖКИ.
4. Жизнеспособная КИ обладает способностью динамически регулировать свою структуру (саморегулировать) – может восстанавливать поврежденные элементы, а также перестраивать функции.

Анализ семантического поля, ассоциированного с понятием жизнеспособности системы, позволил сформировать концепцию жизнеспособности критических инфраструктур региональной безопасности.

4. Жизнеспособность критических инфраструктур региональной безопасности

В современных публикациях по управлению сложными социально-экономическими системами традиционно рассматривается региональная безопасность (РБ) с двух основных позиций:

1. РБ как состояние защищенности макросистемы от внутренних и внешних угроз или возмущений;
2. РБ как совокупность средств (административных, технических, информационных и т.д.), которые задействованы для перехода в и последующего поддержания состояния защищенности макросистемы.

В рамках настоящего исследования авторы уделяют больше внимания второму из перечисленных подходов, так как рассматриваются проблемы информационно-аналитической поддержки управления жизнеспособности критических инфраструктур региональной безопасности.

Принимая во внимание все выше сказанное, РБ представляет собой сложную систему взаимозависимых подсистем, которые можно рассматривать, как отдельные составляющие региональной безопасности (рис. 1). Стоит отметить, что из всего множества подсистем РБ можно выделить подмножество подсистем, обладающих признаками критических инфраструктур (в классическом их понимании).

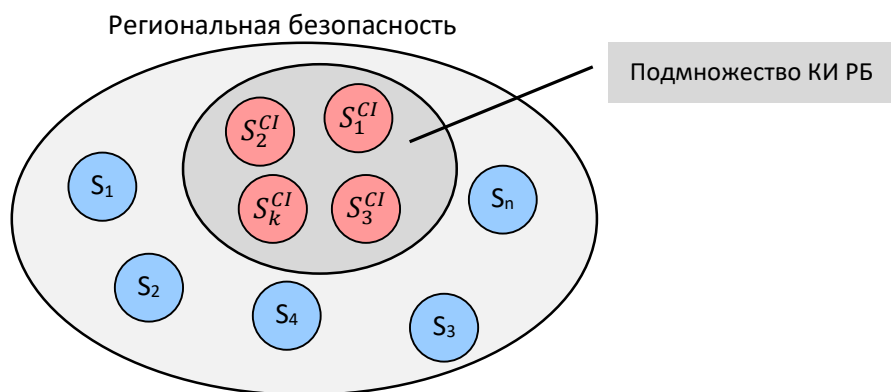


Рис. 1. Множество подсистем, составляющих региональную безопасность

Среди составляющих РБ можно выделить: подсистему экономической безопасности (КИ₁); подсистему экологической безопасности (КИ₂); подсистему промышленной безопасности (КИ₃); подсистему кадровой безопасности (КИ₄) и другие подсистемы (КИ_i, ..., КИ_k). При этом стоит отметить, что система региональной безопасности (СРБ) может быть представлена в виде сетевой, иерархической или гибридной структуры.

С точки зрения системного анализа для обеспечения жизнеспособности совокупности критических инфраструктур региональной безопасности необходимо учитывать задачу, которая решается в данный момент с помощью рассматриваемой системы. Стоит отметить, что при решении задач разработки средств информационно-аналитической поддержки управления каждая из критических инфраструктур может рассматриваться на разных уровнях.

Например, на информационном, на логическом, на физическом и других уровнях описания систем (рис. 2).

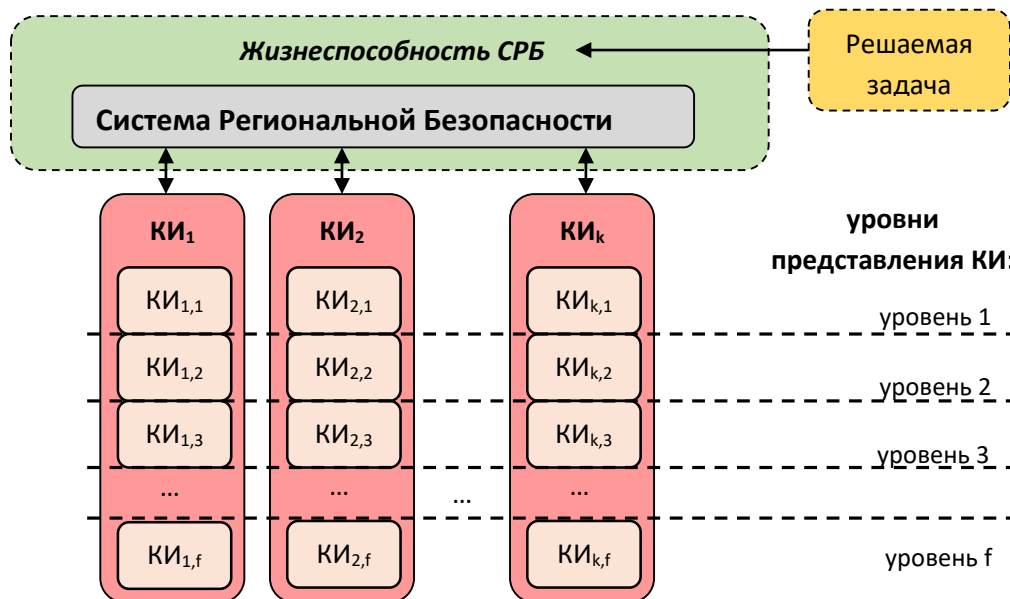


Рис. 2. Многоуровневость представления системы региональной безопасности

Отметим, что каждый уровень критической инфраструктуры может иметь различную организационную структуру по сравнению с другими уровнями (Рис. 3).

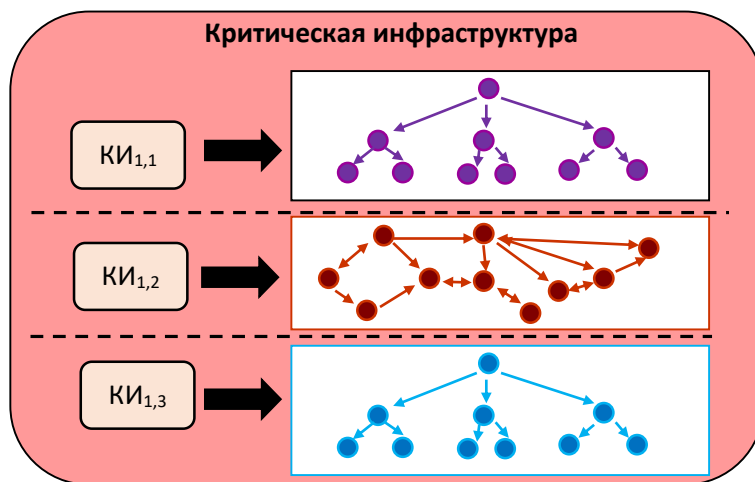


Рис. 3. Различное структурное представление уровней критической инфраструктуры

Альтернативным взглядом модельного описания жизнеспособных критических инфраструктур региональной безопасности является представление их в виде рекурсивных конструкций (рис. 4).

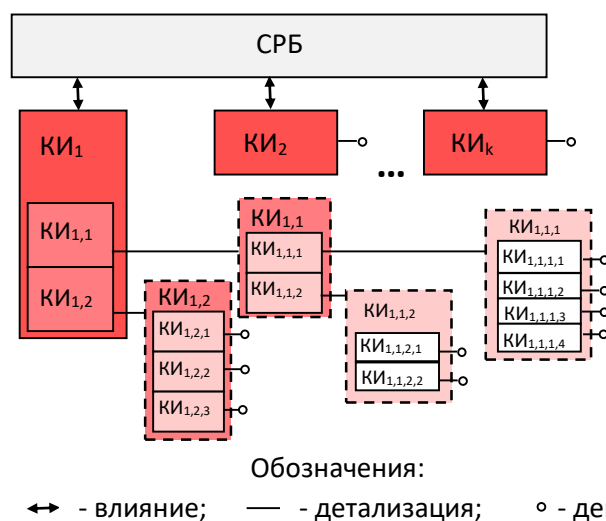


Рис. 4. Вложенность критических инфраструктур

В зависимости от точки зрения на представление системы региональной безопасности можно применять уже зарекомендовавшие себя методы и средства управления сложными системами. Например, для создания средств информационно аналитической поддержки управления в первом случае можно использовать принципы сетцентрического управления, а во втором – методы теории иерархических систем.

5. Кадровая безопасность с позиций жизнеспособности критических инфраструктур региональной безопасности

Для пояснения выше представленных умозаключений рассмотрим в качестве примера такую важную составляющую региональной безопасности, как систему кадровой безопасности региона (СКБ) Мурманской области. Теоретически, СКБ в масштабах региона выражается в процессах, ассоциированных с региональным рынком труда.

Согласно подходу VSM являясь жизнеспособной КИ, система кадровой безопасности также состоит из критически важных инфраструктур, которые обеспечивают ее жизнеспособность. В нашем случае, в качестве таких КИ выступают следующие системы: 1. система формирования предложений для региональной экономики (СФП); 2. система формирования спроса на кадры (СФС).

Ниже приводится фрагмент представления критических инфраструктур кадровой безопасности региона Мурманской области (рис. 5). В соответствии с подходом VSM функционирование каждой из выделенных критических инфраструктур (1. СФП, 2. СФС) зависит от других критических инфраструктур более низкого уровня.

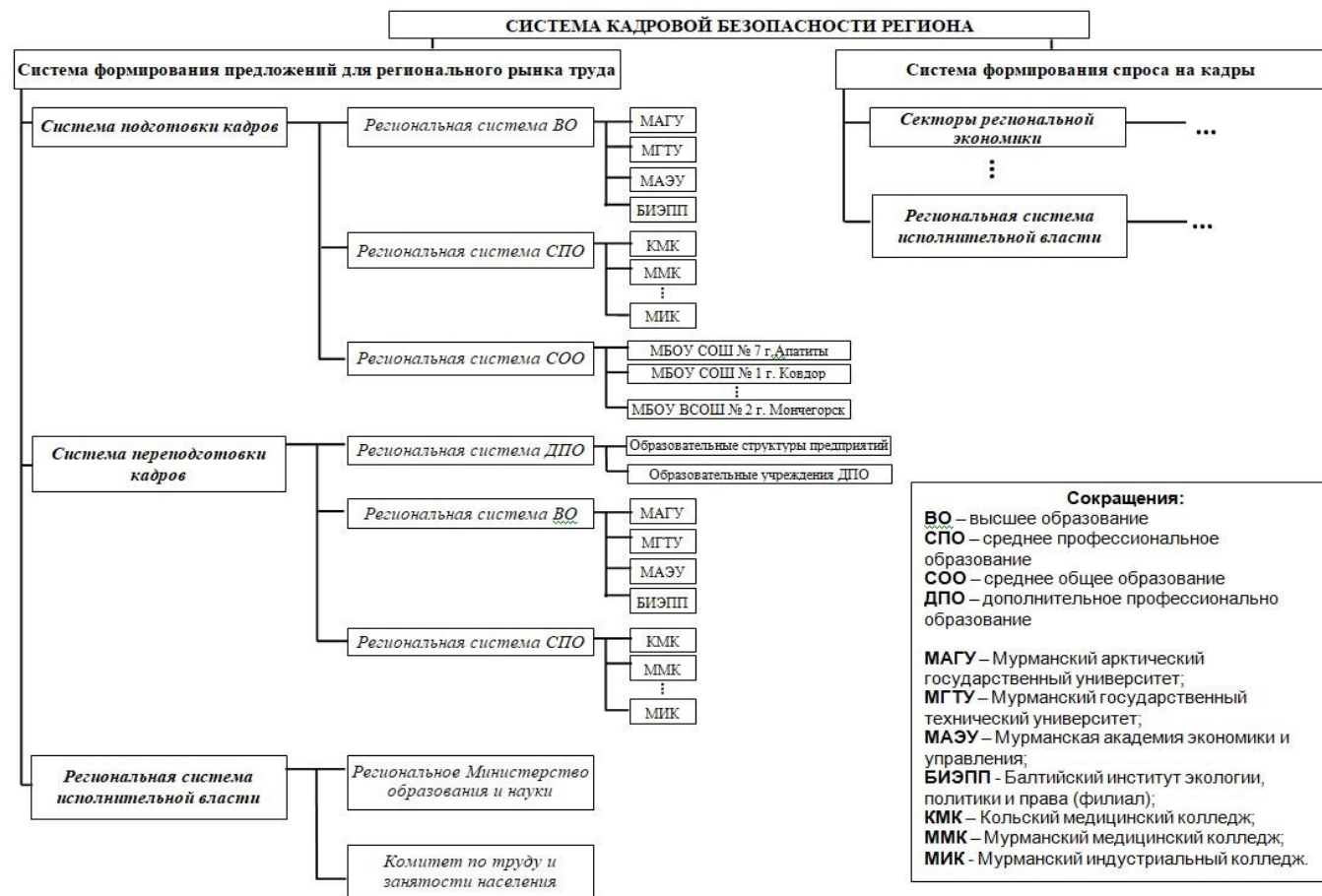


Рис. 5. Фрагмент представления критических инфраструктур кадровой безопасности региона Мурманской области

В нашем случае, жизнеспособность системы формирования предложений на кадры зависит от: 1.1. Системы подготовки кадров; 1.2. Системы переподготовки кадров. 1.3. Региональной системы исполнительной власти.

В свою очередь система подготовки кадров формируется на основе:

1.1.1. Региональной системы высшего образования (ВО).

1.1.2. Региональной системы среднего профессионального образования (СПО).

1.1.3. Региональной системы среднего общего образования (СОО).

Система переподготовки кадров помимо 1.2.1. Региональной системы ВО и 1.2.2. Региональной системы СПО включает в себя также 1.2.3 Региональную систему дополнительного профессионального образования (ДПО).

Региональная система высшего образования в Мурманской области (МО) представлена ВУЗами, региональная система среднего специального образования – колледжами и техникумами, региональная система среднего общего образования – школами, гимназиями, прогимназиями, лицеями и др.

Региональная система дополнительного профессионального образования формируется за счет 1.2.3.1. Образовательных структур предприятий (учебно-производственные центры, корпоративные университеты и т.п.), 1.2.3.1. Образовательных учреждений ДПО (например, учебно-методический консалтинговый центр "Энергия", Мурманский ЦНТИ).

Жизнеспособность региональной система исполнительной власти в контексте обеспечения региональной кадровой безопасности зависит от функционирования 1.3.1. Регионального Министерства образования и науки, 1.3.2. Комитета по труду и занятости населения (Министерство труда и социального развития Мурманской области).

Исторически система формирования спроса на кадры в Мурманской области сложилась из таких компонентов, как 2.1. Секторы региональной экономики, 2.2. Региональная система исполнительной власти.

Секторы (отрасли) региональной экономики в Мурманской области представлены следующими видами экономической деятельности:

2.1.1. Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство;

2.1.2. Добыча полезных ископаемых;

2.1.3. Обрабатывающие производства;

2.1.4. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха;

2.1.5. Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений;

2.1.6. Строительство;

2.1.7. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов;

2.1.8. И другие виды.

Региональная система исполнительной власти с точки зрения регулирования вопросов формирования предложения на рынке труда включает в себя профильные ведомства, отвечающие за развитие ключевых отраслей экономики Мурманской области: 2.2.1. Министерство развития Арктики и экономики МО; 2.2.2. Министерство транспорта и дорожного хозяйства Мурманской области; 2.2.3. Министерство природных ресурсов, экологии и рыбного хозяйства Мурманской области; 2.2.4. Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Мурманской области; и другие ведомства.

Жизнеспособность перечисленных взаимосвязанных критических инфраструктур определяет кадровую безопасность в целом. При этом необходимо учитывать факторы, влияющие на жизнеспособность КБ:

1. Диапазон и степень опасности.
2. Уязвимость системы КБ к различным видам опасностей.
3. Степень готовности системы КБ к опасностям и последствиям их развития.
4. И другие факторы.

В данном контексте под опасностью понимаются внешние и/или внутренние воздействия, влияющие на функционирование критической инфраструктуры.

Рассмотренный пример отражает точку зрения на организационный уровень описания критических инфраструктур с позиции рекурсивных конструкций. Другие уровни описания критических инфраструктур кадровой безопасности (логический, физический, информационный и т.д.) в рамках данной статьи не рассматриваются.

Заключение

Разработка специальных программных средств информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием остается все еще актуальной задачей ввиду востребованности подобного рода программного обеспечения. Степень востребованности повышается в связи с современными требованиями по переходу от традиционной к цифровой экономике.

Одним из направлений разработки данного класса программного обеспечения является создание проблемно-ориентированных систем поддержки принятия решений. В основе СППР могут быть заложена совокупность разнообразных подходов и методов в области программной инженерии и искусственного интеллекта.

В рамках данной статьи для решения задач разработки специального программного обеспечения предлагается использовать концепцию жизнеспособности критических инфраструктур, которая является одним из современных трендов исследования развития сложных систем.

В статье рассматриваются некоторые результаты анализа открытых публикаций в области управления жизнеспособными системами, ориентированные на формирование структурированного описания модели представления КИ и их жизнеспособности. Авторы формируют свое видение понятия жизнеспособности критической инфраструктуры региональной безопасности. В качестве примера одного из подходов представления жизнеспособности КИ приводится кадровая безопасность Мурманской области.

В дальнейшем планируется осуществлять исследования по следующим направлениям:

- разработка формализованных концептуальных описаний предметной области и их представления в виде прикладной онтологии;
- разработка архитектуры проблемно-ориентированной системы поддержки принятия решений в области управления жизнеспособностью КИ РБ;
- разработка интегрированной системы оценки жизнеспособности КИ РБ;
- разработка комплекса имитационных моделей жизнеспособности КИ РБ;
- разработка исследовательского прототипа СППР на базе мультиагентных технологий.

Приведенный список ключевых направлений текущего исследования будет изменяться по мере погружения в предметную область.

Список литературы

1. Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity Version 1.1 National Institute of Standards and Technology April 16, 2018 [Электронный ресурс] URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.04162018.pdf>. (дата обращения 10.12.2021).
2. Council directive 2008/114/ec of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. [Электронный ресурс] // Official Journal of the European Union. 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&qid=1635332328283&from=EN>. (дата обращения 10.12.2021).
3. Основные направления государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры российской федерации (утв. Президентом РФ 03.02.2012 n 803) [Электронный ресурс] URL: <https://rulaws.ru/acts/Osnovnye-napravleniya-gosudarstvennoy-politiki-v-oblasti-obespecheniya-bezopasnosti-avtomatizirovannyh/>. (дата обращения 10.12.2021).
4. Тимашев С.А. Актуальные проблемы критичных инфраструктур // Международная конференция «Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур» (г. Екатеринбург, 10-11 июня 2015 года). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 177-183.
5. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 1. – С. 19-30.
6. Принципы ведения войны / К. Клаузевиц. – Центрполиграф, 2009. – 226 с.
7. Кирдун А.Л., Назин А.Е., Кулешов Ю.П. Методика определения критически важных объектов инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности населения // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2019. — Т. 3. — № 2. — С. 206-215.
8. Dunn M., Wigert I. International CIIP Handbook, 2004: An Inventory and Analysis of Protection Policies in Fourteen Countries – Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 2004. – 243 p.
9. Pederson P., et. al. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research. U.S. Department of Energy National Laboratory operated by Battelle Energy Alliance, 2006. – 116 p.
10. Keating C., et al. System of Systems Engineering // Engineering Management Journal, 2003. Vol. 15 (3). P. 36-45.
11. Jackson M.C. Systems Methodology for the Management Sciences // Conference: “Systems Science and Cognition”, Proceedings, Second European Congress on Systems Science. At: Prague, 1993. Vol. 3. P.1000-1005.
12. Villagran de Leon J.C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review [Электронный ресурс] // Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. URL: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (дата обращения 10.12.2021).

13. FLOODsite. Language of Risk: Project Definitions [Электронный ресурс] // FLOODsite report T32-04-01, 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/242717023_Title_Language_of_Risk_-_Project_definitions. (дата обращения 10.12.2021).
14. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses // *Global Environmental Change*, 2006. Vol. 16(3). P. 253-267.
15. Beer St. *Brain of the Firm*. The Penguin Press, London, 1972. – 417 p.

References

1. Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity Version 1.1 National Institute of Standards and Technology April 16, 2018. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.04162018.pdf>. (accessed 10.12.2021).
2. Council directive 2008/114/ec of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. Official Journal of the European Union. 2008. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&qid=1635332328283&from=EN>. (accessed 10.12.2021).
3. Osnovnyye napravleniya gosudarstvennoy politiki v oblasti obespecheniya bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem upravleniya proizvodstvennymi i tekhnologicheskimi protsessami kriticheski vazhnykh ob"yektov infrastruktury rossiyskoy federatsii (utv. Prezidentom RF 03.02.2012 n 803) [The main directions of state policy in the field of ensuring the safety of automated control systems for production and technological processes of critical infrastructure of the Russian Federation (approved by the President of the Russian Federation 03.02.2012 n 803)] (In Russ.) Available at: <https://rulaws.ru/acts/Osnovnye-napravleniya-gosudarstvennoy-politiki-v-oblasti-obespecheniya-bezopasnosti-avtomatizirovannyh/>. (accessed 10.12.2021).
4. Timashev S.A. Aktual'nyye problemy kritichnykh infrastruktur [Topical Issues of Critical Infrastructures]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Ekonomicheskiye i tekhnicheskiye aspekty bezopasnosti stroitel'nykh kritichnykh infrastruktur» (g. Yekaterinburg, 10-11 iyunya 2015 goda)*. [International conference "Economic and technical aspects of the safety of critical building infrastructures"] Ekaterinburg: UrFU, 2015. pp. 177-183. (In Russ.).
5. Kondrat'yev A. Sovremennyye tendentsii v issledovanii kriticheskoy infrastruktury v zarubezhnykh stranakh [Modern trends in the study of critical infrastructure in foreign countries]. *Zarubezhnoye voyennoye obozreniye* [Foreign military review] 2012, No. 1, pp. 19-30. (In Russ.).
6. Klauzevits K. *Printsipy vedeniya voyny* [Principles of warfare]. Tsyentropoligraf, 2009, 226 p.
7. Kirdun A.L., Nazin A.Ye., Kuleshov YU.P. Metodika opredeleniya kriticheskii vazhnykh ob"yektov infrastruktury obespecheniya zhiznedeyatel'nosti naseleniya [Methodology for determining critically important infrastructure facilities to ensure the life of the population] *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MCHS Belarusi* [Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Belarus], 2019. Vol. 3, No. 2, pp. 206-215. (In Russ.).

8. Dunn M., Wigert I. International CIIP Handbook, 2004: An Inventory and Analysis of Protection Policies in Fourteen Countries. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 2004, 243 p.
9. Pederson P., et al. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research. U.S. Department of Energy National Laboratory operated by Battelle Energy Alliance, 2006, 116 p.
10. Keating C., et al. System of Systems Engineering. Engineering Management Journal, 2003, Vol. 15, No. 3, pp. 36-45.
11. Jackson M.C. Systems Methodology for the Management Sciences. Conference: "Systems Science and Cognition", Proceedings, Second European Congress on Systems Science. At: Prague, 1993, Vol. 3, pp.1000-1005.
12. Villagran de Leon J.C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review. Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. Available at: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (accessed 10.12.2021).
13. FLOODsite. Language of Risk: Project Definitions. FLOODsite report T32-04-01, 2005. Available at: https://www.researchgate.net/publication/242717023_Title_Language_of_Risk_-_Project_definitions. (accessed 10.12.2021).
14. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, 2006, Vol. 16, No. 3, pp. 253-267.
15. Beer St. Brain of the Firm. The Penguin Press, London, 1972, 417 p.

Сведения об авторах

Д. Н. Халиуллина — кандидат технических наук, научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

В. В. Быстров — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

D. N. Khaliullina — Candidate of Science (Tech.), Researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

V. V. Bystrov — Candidate of Science (Tech.), Senior Researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 117–127.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 117–127.

Научная статья
УДК 004.94
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.010

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КАДРОВОЙ ЛОГИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КЛАСТЕРА

Светлана Николаевна Малыгина^{1✉}, Неупокоева Елена Олеговна²

^{1, 2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ
РАН, Апатиты, Россия*

¹ *Филиал МАГУ в г. Апатиты, Апатиты, Россия*

¹ *malygina@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>*

² *neupokoeva@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4059-8724>*

Аннотация

В статье рассматривается разработка имитационной модели производственного кластера средствами программной инструментальной системы Anylogic University 8.7 с использованием агентного и системно-динамического подходов. Авторы уделяют основное внимание средствам визуализации и программной реализации алгоритмов движения трудовых ресурсов в рамках предприятий кластера с учетом разнообразных ограничений.

Ключевые слова:

имитационное моделирование, кадровая логистика, производственный кластер

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0226-2019-0035) и частично Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-07-01193 А).

Для цитирования: Малыгина С. Н., Неупокоева Е. О. Разработка имитационной модели кадровой логистики производственного кластера // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 117–127. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.010>.

Original article

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF PERSONNEL LOGISTICS OF A PRODUCTION CLUSTER

Svetlana N. Malygina^{1✉}, Elena O. Neupokoeva²

^{1, 2} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of The
Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *Apatity branch of Murmansk Arctic State University, Apatity, Russia*

¹ *malygina@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>*

² *neupokoeva@iimm.ru, <https://orcid.org/>*

Abstract

The article discusses the development of a simulation model of a production cluster by means of the Anylogic University 8.7 software tool system using agent-based and system-dynamic approaches. The authors focus on visualization tools and software implementation of algorithms for the movement of labor resources within the cluster enterprises, taking into account various restrictions.

Keywords:

simulation modeling, personnel security, production cluster

Funding

The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 0226-2019-0035) and granted by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR grant No. 19-07-01193-a).

For citation: Malygina S. N., Neupokoeva E. O. Development of a simulation model of personnel logistics of a production cluster // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 117–127. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.010>.

Введение

В последние годы в ИИММ КНЦ РАН ведутся работы по созданию системы поддержки принятия решений в области управления кадровой безопасностью производственного кластера. Архитектура и общий алгоритм функционирования данной системы рассматриваются в работе [1]. Одним из основных элементов системы является компонент прогнозирования состояния кадровой безопасности. В рамках статьи мы остановимся на разработке имитационной модели кадровой логистики производственного кластера как одной из составляющих компонента прогнозирования. В основе модели лежит формализованная концептуальная модель кадрового обеспечения, которая была рассмотрена в работе [2].

Основными логистическими процессами [3] кадрового обеспечения кластера, реализованными на данном этапе исследования, являются:

1. внешняя миграция кадров:
 - a. трудоустройство незанятого населения;
 - b. высвобождение кадров;
2. внутренняя миграция кадров:
 - a. вертикальная миграция – переход с одной должности на другую внутри одного предприятия;
 - b. горизонтальная миграция кадров – переход работника в другую организацию.

Имитационная модель, представленная в работе, реализуется в программной инструментальной системе Anylogic University 8.7, предназначенной для проведения открытых исследований [4]. Anylogic является гибким и мощным инструментом для создания разнообразных компьютерных моделей. При реализации имитационной модели в данной среде возможно одновременное использование различных подходов к моделированию. Так при разработке модели кадровой логистики используются агентный и системно-динамический подходы. Агентный подход позволяет описать сложную систему в виде совокупности взаимодействующих элементов, обладающих своим алгоритмом поведения. При применении метода системной динамики объект исследования представляется в виде системы уровней и потоков, изменяющих значения этих уровней, а также их взаимодействия с помощью обратных связей.

Формальное описание

В рамках работы в качестве основных объектов производственного кластера рассматриваются рынок труда и предприятия. Под рынком труда кластера понимается незанятое население трудоспособного возраста, способное работать в данном секторе экономики. Каждое предприятие включает в себя производственно-экономические процессы, кадры (работники предприятия) и

штатное расписание (должности, существующие на предприятии). В связи с этим основными объектами модели являются три типа агентов:

- Предприятие
- Должность
- Человек

Агент «Предприятие» (Work) описывается следующими параметрами:

$Work = \langle nameWo, free, busy, total, ves_age, ves_edu, ves_exp, \{ws\}, \{stes\}, \{Pr_sd\} \rangle$,
 где

$nameWo$ - название предприятия (string);

$free$ – количество вакансий (double);

$busy$ – количество занятых должностей (double);

$total$ – всего должностей (double);

ves_age – критерий, определяющий ценность возраста претендента на вакансию (double);

ves_edu – критерий, определяющий ценность образования претендента на вакансию (double);

ves_exp – критерий, определяющий ценность опыта работы претендента на вакансию (double);

$\{ws\}$ – популяция «Работники предприятия», состоящая из агентов типа «Человек»;

$\{stes\}$ – популяция «Штатное расписание», состоящая из агентов типа «Должность»;

$\{Pr_sd\}$ – набор производственно-экономических показателей, используемых в системно-динамической модели, отвечающей за реализацию производственно-экономических процессов предприятия (рис. 1).

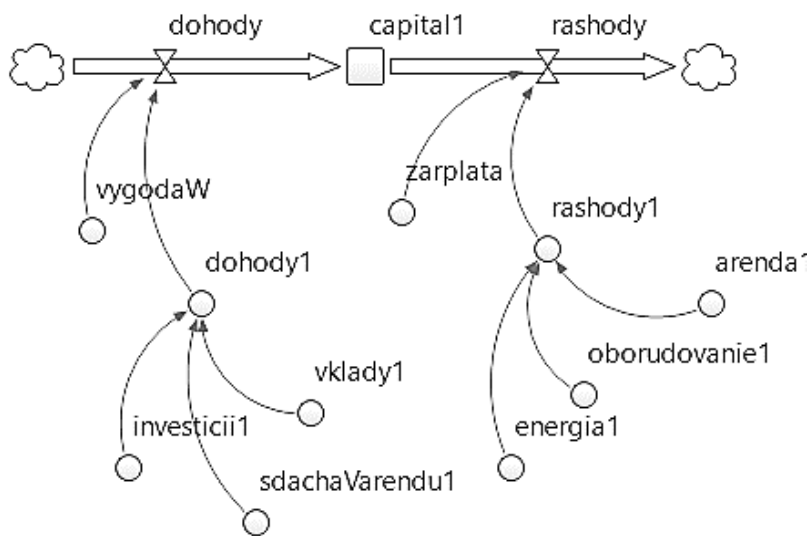


Рис. 1 Системно-динамическая модель, реализующая экономические процессы в агенте «Предприятие»

Тип агентов «Должность» (St) описывается следующим образом:

$St = \langle name, level, salary, sex, flag, minage, maxage, exp, edu, spec, org \rangle$,

где

name – название должности (string);

level – ранг (double);

salary – оклад (double);

sex – пол (double);

flag – занятость должности (double);

minage – минимальный возраст (double);

maxage – максимальный возраст (double);

exp – опыт работы (double);

edu – код уровня образования (double);

spec – специализация (string);

org – номер организации (int).

Агенты данного типа в зависимости от значения параметра flag могут относиться к трем различным категориям: «Вакансии» (flag=0), «Занятые должности» (flag=1) и «Должности в процессе найма работника» (flag=2).

В качестве агентов «Человек» (W) в модели выступают люди от 18 лет до пенсионного возраста. Данный тип агентов описывается следующими параметрами:

$W = \langle name, sex, age, wage, exp, edu, spec, org, maxage, fatigue \rangle$,

где

name – имя (double);

sex – пол (double);

age – возраст (double);

wage – заработная плата (double);

exp – опыт работы (double);

edu – код уровня образования (double);

spec – специализация (string);

org – номер организации (int), для безработного $org = -1$;

maxage – возраст выхода на пенсию (double);

fatigue – удовлетворенность работой (double).

В реализуемой модели производственный кластер в терминах агентного моделирования представляет собой сцену и задается двумя популяциями:

«Предприятия» (works), состоящей из агентов типа «Предприятие», включающих в себя популяции «Штатное расписание» и «Работники предприятия».

«Нетрудоустроенные» (ums), состоящей из агентов типа «Человек». Эта популяция имитирует рынок труда производственного кластера.



Рис. 2. Взаимодействие основных объектов модели

Между элементами модели существует несколько видов взаимосвязей, определяемых типом передаваемых по ним объектов (рис. 2). Трудовые ресурсы могут переходить с одного предприятия на другое, увольняться с работы, переходя в категорию нетрудоустроенных, устраиваться на работу. Эти перемещения в модели отражены с помощью внутренних потоков, представляющих собой движение агентов типа «Человек» между популяциями внутри производственного кластера. Изменение численности трудовых ресурсов производственного кластера вызвано взрослением населения региона, миграционными процессами, переходом трудовых ресурсов из одного производственного кластера в другой. В модели эти процессы отражаются внешними потоками, которые означают уничтожение и появление новых агентов типа «Человек». При устройстве на работу каждый работник занимает конкретную должность, в модели за это отвечают ассоциативные связи, соединяющие агента из популяции «Работники предприятия» с определенным агентом из популяции «Штатное расписание». Посредством этой связи осуществляется взаимодействие работника с предприятием. Информационные связи указывают на взаимное влияние экономических показателей производства на показатели популяций «Штатное расписание» и «Работники предприятия».

Реализация имитационной модели кадровой логистики

При запуске модели осуществляется инициализация модели путем считывания исходной информации из конфигурационного файла Excel, при этом происходит последовательное создание популяций «Предприятия», «Штатное расписание», «Работники предприятия» и «Нетрудоустроенные».

Поведение агентов реализуется с помощью диаграмм состояний (рис. 3-4) и событий, в том числе запускающих выполнение определенных процедур взаимодействия с другими агентами.

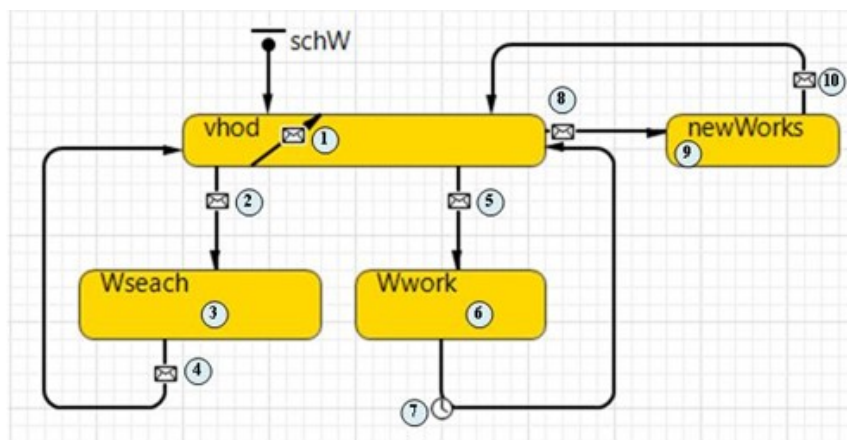


Рис. 3. Диаграмма состояний агента «Человек»

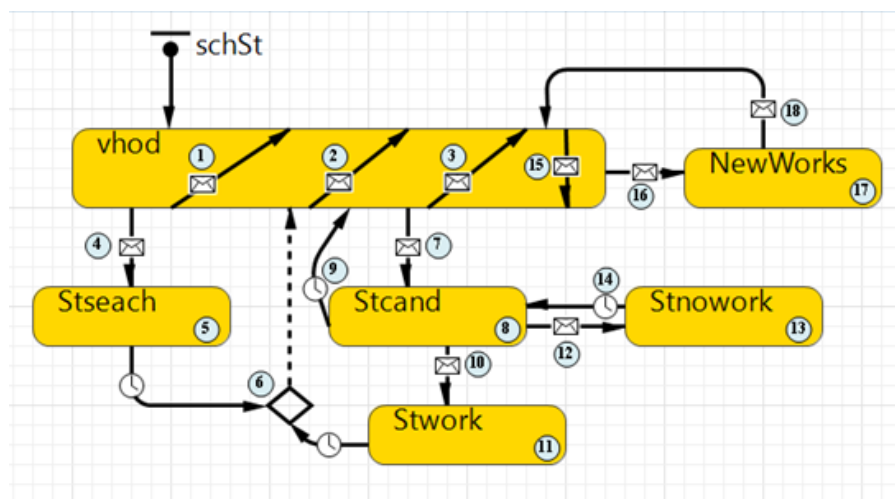


Рис. 4. Диаграмма состояний агента «Должность»

На текущем этапе исследования шаг моделирования составляет 1 год. Для реализации основных логистических процессов кадровой безопасности в текущей версии модели разработаны следующие процедуры:

- старение агента «Человек»;
- увольнение в связи с выходом на пенсию;
- увольнение по собственному желанию;
- сокращение штата предприятия;
- поиск работы и трудоустройство;
- переход в другую организацию;
- повышение в должности.

Старение агента «Человек»

На каждом шаге моделирования происходит увеличение возраста агентов типа «Человек», при этом если агент принадлежит популяции «Нетрудоустроенные», то при достижении пенсионного возраста он удаляется из модели. Если агент принадлежит популяциям «Рабочие предприятия», то для него реализован процесс «Увольнение в связи с выходом на пенсию».

Увольнение в связи с выходом на пенсию

Данный алгоритм реализуется посредством обмена сообщениями между связанными агентами типа «Должность» и «Человек». Так как возрастные ограничения для разных должностей отличаются, то в данной функции предусмотрены два варианта:

1) возраст агента, уходящего на пенсию согласно возрастным ограничениям должности, позволяет ему устроиться на работу на другую должность,

2) агент достиг общего пенсионного возраста.

В первом случае агент «Человек» посылает сообщение «I go» агенту «Должность» и для него срабатывает переход 2 в диаграмме состояний (рис.4), в результате которого агент «Должность» посылает сообщение «Go-Go» агенту «Человек», происходит смена значений соответствующих параметров и агент «Должность» переходит в категорию «Вакансии». Для агента «Человек» срабатывает переход 1 (рис. 3), в результате которого разрывается связь между агентами, и агент «Человек» переходит в популяцию «Нетрудоустроенные».

Во втором случае агент «Человек» посылает сообщение «flag 0» связанному с ним агенту «Должность» для которого срабатывает переход 3 в диаграмме состояний (рис.4), в результате которого агент «Человек» удаляется из модели. При этом у агента «Должность» обнуляются параметры, отвечающие за связь с удаленным агентом, и он переходит в категорию «Вакансии».

Увольнение по собственному желанию с переходом в популяцию «Нетрудоустроенные»

Рассматриваемый процесс в отличие от «Увольнение в связи с выходом на пенсию» запускается не на каждом шаге моделирования, а по событию с некоторой вероятностью. В этом случае алгоритм работает по первому варианту.

Сокращение штата

Алгоритм запускается по событию «Attention» в агенте «Предприятие», которое срабатывает при достижении предприятием критических показателей, например, текущий доход опускается ниже установленного минимума. В этом случае высчитывается дефицит бюджета, на основе которого рассчитывается количество сокращаемых единиц штата, при этом количество по каждому уровню должностей берется в процентном соотношении. Если для покрытия дефицита необходимо сократить более 70% (настраиваемый параметр) штата, предприятие подлежит ликвидации. Иначе процесс сокращения начинается с нижнего уровня должностей. Если на выбранном уровне есть свободные должности, то сначала сокращаем их. Если после этого нужный порог не достигнут, то начинаем

сокращение занятых должностей в соответствии с вкладом работника в предприятие (как интегрированный показатель эффективности работы сотрудника). В этом случае запускается процесс увольнения работника, в результате которого агент «Человек» переходит в популяцию «Нетрудоустроенные».

На данном этапе реализации в модели не учитывается, что при сокращении сотрудников согласно трудовому законодательству РФ предприятие обязано предложить ему другую должность.

Поиск работы и трудоустройство

Поиск вакансии осуществляется на каждом шаге моделирования агентами из популяции «Нетрудоустроенные». Для каждого агента формируется список подходящих вакансий, которым агент отправляет сообщение о желании работать. При получении сообщения «want to work» у агента «Должность» срабатывает переход 7 диаграммы состояний (рис. 4) в состояние «Stand», в котором у агента формируется список претендентов из агентов «Человек», приславших сообщение. Из этого списка выбирается лучший претендент (на основе интегрированной оценки персональных параметров кандидата), которому отправляется сообщение о готовности взять на работу, в результате агент «Человек» переходит в состояние «Wwork» по переходу 5 (рис. 3). В этом состоянии возможны два варианта: агент «Человек» может ответить сообщением о готовности работать, после чего происходит переход 10 агента «Должность» и реализуется алгоритм приема на работу. Во втором варианте агент «Человек» отказывается от должности, при этом агент «Должность» осуществляет переход 12 в состояние «Stnowork», в котором происходит выбор следующего по параметрам претендента, и обратный переход 14, после чего процесс предложения работы повторяется.

Переход работника в другую организацию

Данный алгоритм объединяет в себя «Поиск работы и трудоустройство» и «Увольнение по собственному желанию» и запускается для агентов из популяции «Работники предприятия» с некоторой вероятностью по событию «seachNewWorks».

При срабатывании события для агента «Человек» реализуется поиск наилучшей вакансии из возможных, которой отправляется сообщение «seachNewWorks». При получении сообщения для агента «Должность» срабатывает переход 16 (рис. 4) и он оказывается в состоянии 17, в котором происходит закрепление вакансии за новым претендентом (параметр flag=2), и агент отправляет ответное сообщение «NewWorks». В результате для агента «Человек» срабатывает переход 8 (рис. 3) и он оказывается в новом состоянии 9, в котором запускается процесс увольнения со старой должности. Данный процесс состоит в следующем: связанному агенту «Должность» отправляется сообщение «IGoNewWorks», при получении которого происходит срабатывание перехода 15, в результате чего запускается процедура освобождения должности и отправляется ответное сообщение «Ifree» агенту «Человек». При получении этого сообщения срабатывает переход 10 (рис.3) и для агента «Человек» последовательно выполняются следующие действия:

- разрывается связь с предыдущей должностью;
- устанавливается связь с новой должностью;
- агент переходит в популяцию работников нового предприятия;
- параметры агента меняются в соответствии с параметрами новой должности;
- новой должности отправляется сообщение «goNewWorks».

При получении указанного сообщения агент «Должность» переходит в начальное состояние, обновляет значения параметров в соответствии с параметрами нового работника и устанавливает параметру flag значение 1 (должность занята). На этом переход работника с одного предприятия на другое можно считать завершенным.

Повышение в должности

При реализации данной функции предполагается, что все работники предприятия готовы на карьерный рост и принимают предложение продвижения по службе безоговорочно.

Начиная с высшего ранга должностей категории «Вакансия», предлагаем агентам «Человек» из популяции «Работники предприятия», занимающим должности нижестоящего ранга, новую должность. Из работников, подходящих по параметрам, выбирается вносящий наибольший вклад в предприятие и для него следует переход на новую должность, при этом его предыдущая должность освобождается. Рассматриваемая процедура повторяется для всех агентов «Должность» категории «Вакансия», за исключением нижнего ранга.

В разрабатываемой модели вакансии предлагаются сначала работникам текущего предприятия, и в том случае, если никто не может по параметрам претендовать на эту должность, вакансия передается на рассмотрение всем агентам типа «Человек».

Визуализация имитации

На данном этапе реализации модели производственный кластер состоит из трех предприятий. В результате моделирования вычисляются данные о количестве и составе трудовых ресурсов производственного кластера и отдельного предприятия. На рисунке 5 приведен пример визуализации результатов моделирования. Круговые диаграммы и гистограммы показывают гендерное и возрастное соотношения трудовых ресурсов по каждому предприятию, рынку труда и в целом. Для каждого предприятия отображены сведения о количестве вакансий и численности работников, также отображается связь между работником и занимаемой им должностью.

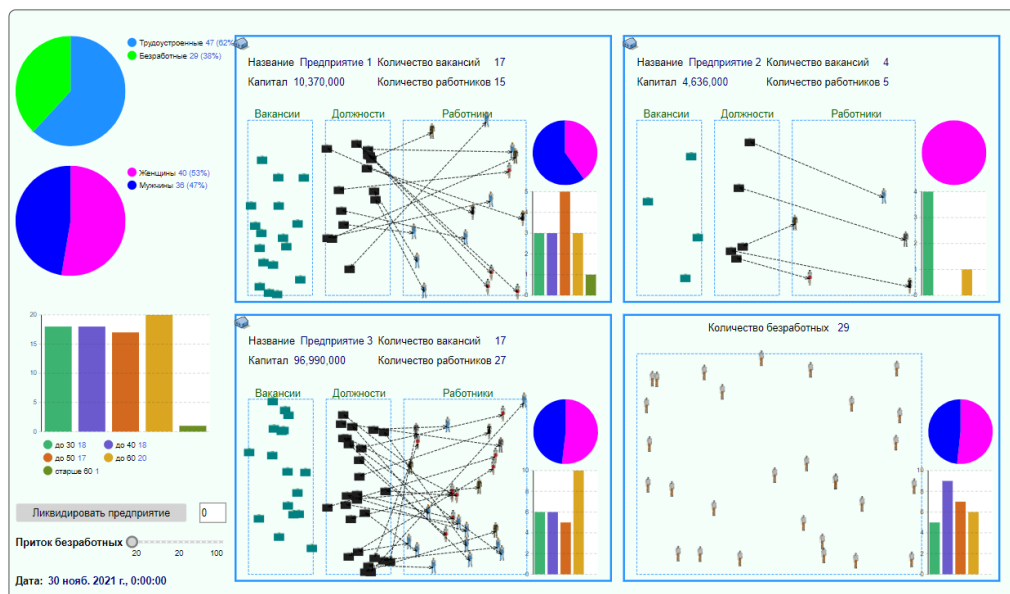


Рис. 5. Пример визуализации результатов моделирования

Реализованы элементы управления выполнения модели. В частности, предлагается изменять количество предприятий кластера в сторону его уменьшения, реализованного с помощью управляющей кнопки «Ликвидировать предприятие». Посредством управляющего элемента «бегунок» предоставляется возможностью количественно изменять ежегодный прирост на рынок труда кластера.

Заключение

В работе представлено описание компьютерной модели, имитирующей процессы движения трудовых ресурсов как внутри, так и между предприятиями производственного кластера. Авторами предложено формальное описание объектов модели кадровой логистики производственного кластера с позиции теории множеств. Приведены аспекты программной реализации в среде Anylogic отдельных процессов, связанных с кадровой логистикой как внутренней, так и внешней для отдельного предприятия. В дальнейшем планируется расширить модель за счет добавления:

- более детальной проработки производственных процессов предприятий;
- учет процессов подготовки кадров, в частности, повышения квалификации;
- имитации миграционных процессов как для кластера, так и для региона.

Разрабатываемая имитационная модель служит основой для разработки специализированного программного обеспечения информационно-аналитической поддержки управления кадровой безопасностью регионального производственного кластера. Она позволит исследовать различные сценарии развития кадровой ситуации в производственном кластере и выработать на основе результатов имитации рекомендации для принятия кадровых решений.

Список литературы

1. Bystrov V.V., Khaliullina D.N., Malygina S.N. Architecture of the Decision Support System for Personnel Security of the Regional Mining and Chemical Cluster // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol.1294. P. 442–463 (doi.org/10.1007/978-3-030-63322-6_36)
2. Малыгина С.Н., Быстров В.В., Халиуллина Д.Н. Логистика кадрового обеспечения региона: формализация и структура полимодельного комплекса // *Труды Кольского научного центра. Информационные технологии* – Т. 9. - № 9-10 - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. – С. 36-47 (DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.10.36-47).
3. Экономика труда: учебник для академического бакалавриата / под общ. ред. М. В. Симоновой. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 259 с.
4. Официальный сайт Anylogic. – URL: <https://www.anylogic.com/>

References

1. Bystrov V.V., Khaliullina D.N., Malygina S.N. Architecture of the Decision Support System for Personnel Security of the Regional Mining and Chemical Cluster // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol.1294, pp. 442–463 (doi.org/10.1007/978-3-030-63322-6_36)
2. Malygina S.N., Bystrov V.V., Haliullina D.N. Logistika kadrovogo obespechenija regiona: formalizacija i struktura polimodel'nogo kompleksa [Logistics of personnel provision in the region: formalization and structure of the poly-model complex] *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra. Informacionnye tehnologii* [Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies], 2018, Vol. 9, No. 9-10, pp. 36-37 (In Russ.).
3. *Jekonomika truda: uchebnik dlja akademicheskogo bakalavriata* [Labor Economics: Textbook for academic Baccalaureate]. Moskva, Izdatel'stvo Jurajt, 2018, 259 p.
4. Oficial'nyj sajt Anylogic. – URL: <https://www.anylogic.com/>

Сведения об авторах

С. Н. Малыгина — кандидат технических наук, научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН, доцент кафедры ИиВТ филиала МАГУ в г. Апатиты;

Е. О. Неупокоева — стажер-исследователь ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

S. N. Malygina — Candidate of Science (Tech.), Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor of IT and Computing Tools Department of MASU Branch in Apatity;

E. O. Neupokoeva — intern researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 128–139.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 128–139.

Научная статья
УДК 004.65
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.011

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ «ОТКРЫТЫХ» НАБОРОВ АТТРИБУТОВ СУЩНОСТЕЙ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ

Андрей Григорьевич Олейник✉

Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия
oleynik@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

Аннотация

Реляционные отношения практически реализуются средствами систем управления базами данных в виде двумерных таблиц. В связи с этим возникают определенные сложности при разработке схем реляционных баз данных, в которых необходимо представить объекты с изменяющимся (открытым) набором атрибутов. В статье предложен вариант решения этой проблемы путем включения в схему специальных отношений - справочников свойств. Справочники позволяют пополнять наборы атрибутов объектов без изменения структуры базы данных. Представлены примеры практического использования справочников при разработке схем баз данных двух информационных систем.

Ключевые слова:

реляционная модель, база данных, изменяемый набор атрибутов, отношение-справочник

Финансирование

Статья выполнена по теме госзадания ИИММ КНЦ РАН № 0226-2019-0036 и частично поддержана РФФИ (проект № 19-07-00359).

Для цитирования: Олейник А. Г. Организация хранения «открытых» наборов атрибутов сущностей в реляционных базах данных // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 128–139. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.011>.

Original article

STORAGE ORGANIZATION FOR "OPEN" SETS OF ENTITY ATTRIBUTES IN RELATIONAL DATABASES

Andrey G. Oleynik✉

Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia
oleynik@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

Abstract

Relations are practically implemented by database management systems in the form of two-dimensional tables. In this regard, certain difficulties arise in the development of relational database schemas, in which it is necessary to represent objects with an alterable (open) set of attributes. The article proposes a solution to this problem by including special relations in the scheme - relations of properties directory. Properties directory allow replenishing the sets of object attributes without changing the structure of the database. Examples of the practical use of properties directory in the development of database schemas of two information systems are presented.

Keywords:

relational model, database, alterable attribute set, relation as directory

Funding

The article was made on the topic of the state assignment of the Barents Centre of the Humanities of KSC RAS No. 0226-2019-0066.

For citation: Oleynik A. G. Storage organization for "open" sets of entity attributes in relational databases // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 128–139. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.011>.

Введение

С развитием информационных технологий и внедрением информационных систем во все сферы человеческой деятельности словосочетание «база данных» широко используется не только специалистами в области обработки информации, но часто звучит из уст журналистов, рекламных агентов и др. Однако при этом базой данных называют очень разные вещи, в том числе и неупорядоченные наборы разнородных документов, условно «объединяемых» некоторой общей тематикой. В межгосударственном стандарте «Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения» [1], введенном в нашей стране в 1986 году, база данных (Data Base) определяется следующим образом: «Совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными, независимая от прикладных программ». Для создания программного обеспечения управления данными в вычислительных машинах было необходимо создать формальный аппарат описания структуры и методов манипулирования хранимыми данными, а также правил, позволяющих автоматически контролировать согласованность данных при манипулировании ими. Это привело к появлению и последующему развитию ряда моделей данных. Определение модели данных также зафиксировано в [1]: «Совокупность правил порождения структур данных в базе данных, операций над ними, а также ограничений целостности, определяющих допустимые связи и значения данных, последовательность их изменения.». К настоящему времени к основным моделям данных, на основе которых создавались и создаются специализированные программные системы управления базами данных (СУБД), относят следующие (в хронологическом порядке): иерархические; сетевые; реляционные; объектно-ориентированные; NoSQL базы данных. Следует отметить, что NoSQL объединяет довольно широкий спектр различных решений [2-4], появившихся в первом десятилетии XXI века в связи с увеличением объемов и распределенностью подлежащих хранению и использованию данных. Решения, относимые к NoSQL являются нереляционными, распределенными, открытыми и масштабируемыми по горизонтали [2]. Они ориентированы на первоочередное обеспечение доступности хранимых данных в определенной мере жертвуя обеспечением жесткого соблюдения требования ACID (atomicity – consistency – isolation – durability), предъявляемого к транзакционным системам.

Каждая модель данных, как и практически ориентированные решения в области СУБД, наряду с достоинствами, обуславливающими их появление, обладают и определенными недостатками. Поэтому при разработке и создании базы данных выбор конкретной модели данных и СУБД определяется, в первую очередь, требованиями, которые предъявляются к работе с данными со стороны подлежащих решению задач. На сайте Хабр представлена интересная статья [5],

автор которой на основе собственного многолетнего опыта работы с различными СУБД характеризует современное состояние и тенденции их развития.

В настоящей работе рассматривается вариант решения проблемы, которую нередко указывают в качестве одного из недостатков реляционных баз данных (РБД), обусловленных требованием однородности структуры отношений, из которых формируется реляционная база. Удовлетворение этого требования может вызывать определенные трудности при проектировании структуры РБД, в которой необходимо представить сущности с переменным или «открытым» набором атрибутов.

Почему реляционная база данных?

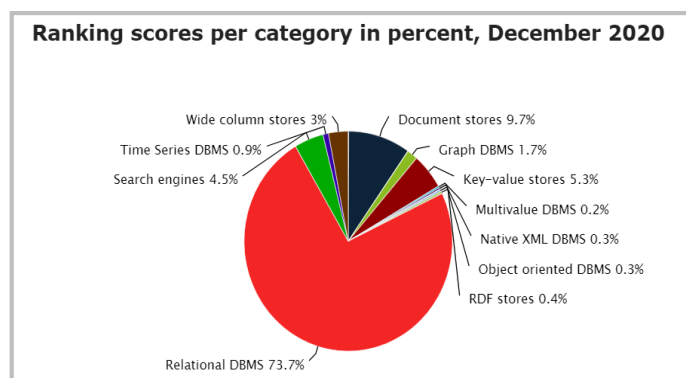


Рис. 1. Доли СУБД различных типов по данным на 2020 год [5]

Предложенная в 1970-х годах Коддом (E. F. Codd) реляционная модель данных [6] и в настоящее время сохраняет свою популярность и имеет достаточно широкое применение. В частности, автор [5] отмечает, что реляционные СУБД составляют подавляющее большинство всех СУБД в мире, иллюстрируя это утверждение следующей диаграммой:

Многие современные СУБД, поддерживающие мультимодельность, имеют в качестве основной реляционную модель [5].

К достоинствам РБД, отличающим их как от предшествующих, так и от разработанных позже моделей баз данных, относятся:

- доступность внешнего представления для понимания пользователем (наглядность «табличного» представления);
- строгие правила, базирующиеся на проработанном математическом аппарате;
- независимость данных от прикладных программ, использующих хранимые данные;
- развитые средства организации запросов, в том числе – «непредсказуемых», не требующие знания физической организации хранения данных;
- развитые механизмы поддержания целостности при выполнении транзакций.

Реляционная модель, ее основные составляющие (структурная, манипуляционная и целостная), а также ключевые вопросы проектирования и реализации РБД подробно рассматриваются в объемных трудах К. Дж. Дейта [7] и Т. Коннолли, К. Бегг [8], неоднократно переиздаваемых как за рубежом, так и в России.

Важность независимости данных от программ, использующих эти данные, для обеспечения гибкой работы с данными была отмечена еще Дж. Мартином [9]. Это позволяет разделить и достаточно независимо разрабатывать и развивать программное обеспечение, отвечающее за ведение данных (управление структурой и модификация значений данных), и программное обеспечение, использующее эти данные для решения различных прикладных задач. Отмеченное свойство в ряде случаев оказывается крайне полезным при создании баз данных информационных систем, предполагающих в перспективе существенное развитие как самой базы данных об объектах управления или исследования, так и функций обработки этих данных. В частности, эволюция моделей, методов и инструментов анализа хранимых данных не требует изменения РБД. А пополнение РБД новыми экземплярами данных или новыми элементами структуры не требует внесения значимых изменений в уже сохраненные данные и использующие их программы.

Характеризуя ситуацию, складывавшуюся в работе с данными астрономии к 2010 году, автор [10] утверждает, что при работе с «сырыми» данными (row data) научных проектов, используемыми по принципу WORM (Write Once Read Many: «писать - один раз, читать – много»), следует отказаться от принципов ACID, ставящих на первое место согласованность данных транзакционных систем, и отдать предпочтение NoSQL решениям на основе модели BASE (Basically Available, Soft-state, Eventually consistent), ориентированную на приоритет доступности данных [11]. Однако далеко не во всех научных проектах наиболее критичным аспектом является доступность «сырых» или производных данных, а крайне важно именно поддерживать их целостность в процессе манипулирования. Кроме того, как отмечает сам автор [10], исторически данные даже в рамках одной предметной области/одного объекта исследований не редко накапливались в информационных системах, использующих различные СУБД. Если эти унаследованные данные хранятся в РБД, имеющих общий теоретический базис, то интегрировать их существенно проще, чем данные различных NoSQL систем, единого базиса не имеющих.

Проектирование реляционных отношений при неоднородных наборах атрибутов

Единственно возможным структурным компонентом РБД являются реляционные отношения, наглядно представляемые в виде двумерных таблиц. Данный факт указывают как среди достоинств РБД, так и среди недостатков. С одной стороны, табличное представление достаточно наглядно и легко «понимается» пользователем. С другой стороны, далеко не всегда объект реального мира можно эффективно представить в рамках одной двумерной таблицы, а распределение характеристик объекта по нескольким взаимосвязанным таблицам уже затрудняет его целостное восприятие человеком. Однако следует помнить, что формальная схема РБД в виде взаимосвязанных нормализованных базовых n-арных отношений создается для эффективной

«машинной» работы с данными. Для удобства восприятия хранимых данных пользователем средствами языка манипулирования данными могут быть сформированы производные отношения – представления [7, 8].

В ряде случаев проектирование нормализованных отношений вызывает определенные сложности. Например, в ситуации, когда представляемые в БД объекты, относимые к одной сущности, имеют частично различающиеся наборы атрибутов.

Предположим, что в концептуальной модели данных определена сущность X . При детализации модели выясняется, что группы экземпляров этой сущности X_i и X_j имеют частично различающиеся наборы атрибутов, которые необходимо представить в БД:

$$X_i \subseteq X \wedge X_j \subseteq X;$$

$$X_i := \langle a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m \rangle;$$

$$X_j := \langle a_1, \dots, a_n, c_1, \dots, c_k \rangle, \text{ причем } \forall a_i \exists a_j, a_i = a_j \text{ и } \forall (b_i, c_j), b_i \neq c_j.$$

Если в БД формировать отношение, обеспечивающее хранение данных обо всех экземплярах сущности X , то его заголовок будет являться объединением заголовков X_i и X_j и иметь вид:

$$X := \langle a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m \rangle \cup \langle a_1, \dots, a_n, c_1, \dots, c_k \rangle = \langle a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m, c_1, \dots, c_k \rangle,$$

т.е. содержать имена всех возможных атрибутов представляемых в нем экземпляров объектов, отнесенных к одной сущности реляционной модели. При этом тело отношения будет иметь «пустоты» в записях, если у некоторого объекта (экземпляра сущности) отсутствуют некоторые атрибуты. Таких пустот будет тем больше, чем больше для сущности будет групп экземпляров, частично различающихся набором атрибутов.

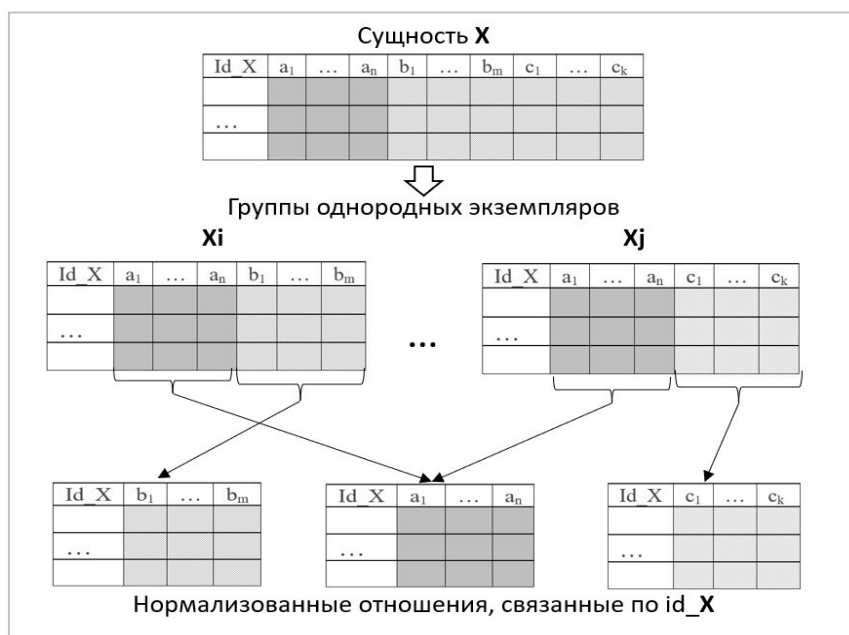


Рис. 2. Схема формирования отношений для представления экземпляров сущности с различающимся набором атрибутов

С другой стороны, если хранение экземпляров сущности X «разделить» на отношения, содержащие однородные по набору атрибутов группы экземпляров с соответствующими заголовками, то число таких отношений в БД будет равно количеству однородных групп, а представление значений атрибутов $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ в БД может оказаться избыточным.

В качестве решения указанной проблемы предлагается разделить хранение общих атрибутов объектов, относимых к одной сущности ($\langle a_1, \dots, a_n \rangle$), и «индивидуальных» атрибутов отдельных экземпляров или однородных групп объектов этой сущности (рис.2). В общем случае может быть реализовано несколько уровней группирования экземпляров с одинаковыми наборами атрибутов.

Проектирование реляционных отношений при «открытых» наборах атрибутов

Еще одной проблемой, с которой могут столкнуться разработчики структуры РБД предметной области – «открытость» набора атрибутов, значения которых предстоит хранить. Имеется ввиду, что при формировании структуры БД отсутствует полная информация о подлежащих хранению атрибутах. Это может быть обусловлено, в частности, необходимостью дополнения БД новыми атрибутами представленных в базе сущностей в связи с применением новых моделей и расширением спектра решаемых с использованием этой базы задач. Реляционная модель позволяет расширить хранимое отношение без изменения уже существующей части. Но реализация такой процедуры, по сути, представляет собой изменение структуры БД, что далеко не всегда возможно в рамках прикладной информационной системы, уже эксплуатируемой конечными пользователями. Обеспечить возможность расширения набора атрибутов, отражающих свойства объектов предметной области, позволяет следующие решение.

Для представления используемых атрибутов в РБД формируется отношение, выполняющее роль справочника свойств объектов. Минимальный заголовок этого отношения может состоять всего из трех элементов: идентификатор свойства, название свойства и единицы измерений значения свойства ($\langle \text{Id_property}, \text{name_property}, \text{unit} \rangle$). Использование справочника позволяет легко пополнять перечень атрибутов, которые могут дополнительно понадобиться в качестве характеристик представляемых в БД объектов. При этом в отношении X (рис.3), кроме идентификатора и «имени» экземпляра, могут быть включен только набор атрибутов a_i , имеющийся у всех экземпляров сущности X , а «индивидуальные» атрибуты вынесены в отношение $X_property$. Если у экземпляров сущности X нет общих атрибутов, то заголовок отношения « X » будет состоять только из двух элементов: $\langle \text{Id_X}; X_name \rangle$.

На основе этого решения может быть реализовано описание общих свойств любой группы однотипных элементов. В этом случае экземпляром сущности X является не единичный экземпляр объекта, а однородная группа, имеющая свое название (X_name) и идентификатор (Id_X). Все свойства группы описываются в отношении « $X_property$ » набором записей с одинаковым идентификатором группы. Количество записей для группы определяется количеством задаваемых для нее свойств (выбираемых из справочника). Текстовые наименования групп элементов, которые могут быть довольно

длинными, заносятся только в отношение «X», выполняющее в данном случае роль справочника групп, что обеспечивает исключение их повторения в отношении «Свойства группы» (X_property на рис.3.). При описании элемента для него указывается идентификатор группы, к которой он относится и, соответственно, имеет набор и значения свойств, присущих всем элементам данной группы.

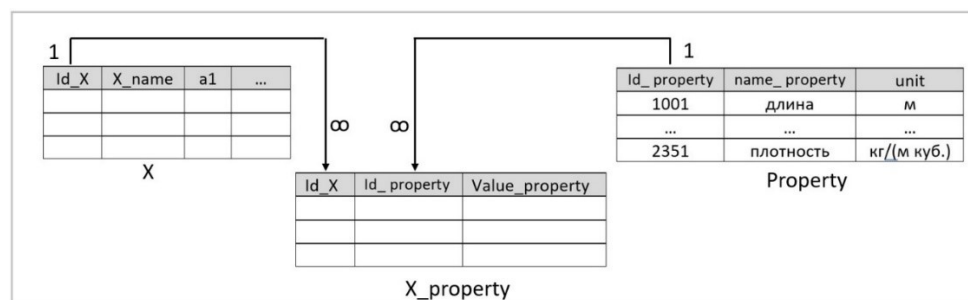


Рис. 3. Подсхема использования отношения-справочника при описании сущностей с «открытым» набором атрибутов

Таким образом справочники свойств позволяют однотипно описывать как свойства групп объектов, так и свойства отдельных экземпляров.

Использование предлагаемых решений при логическом проектировании РБД

Представленные выше решения были предложены в процессе разработки структур реляционной базы данных мониторинга технического состояния энергетических котлов тепловых электростанций и базы данных информационной технологии структурного синтеза многостадийных технологических схем обогащения минерального сырья, разрабатываемой при поддержке РФФИ (проект № 18-07-00615-а).

Первоочередными задачами, для решения которых разрабатывалась база данных энергетических котлов [12], определены мониторинг текущего состояния котлов и оценка изменения остаточного ресурса оборудования с целью прогнозирования возможных аварийных ситуаций и рационального планирования ремонтно-профилактических работ. В БД было необходимо представить иерархическую структуру объектов предметной области, включающую три взаимосвязанных уровня: котел, функциональный узел котла, элемент функционального узла.

Задача представления функциональных узлов (ФУ), входящих в состав каждого экземпляра котла, решается достаточно просто. В схему данных введено отношение «Котел-ФУ», имеющее в качестве первичного ключа идентификатор экземпляра ФУ, а также два ссылочных ключа. Один ссылочный ключ указывает на запись об экземпляре котла, в состав которого входит данный ФУ. Второй – на запись о ФУ данного типа в справочнике функциональных узлов (рис.4).

Однако для представления состава элементов, входящих в конкретный экземпляр ФУ, пришлось разработать более сложную реляционную подсхему. Это было обусловлено двумя причинами. Во-первых, различие наборов

атрибутов, необходимых для описания групп однородных элементов, входящих в ФУ, и априорно определенных экспертами как «критичных» для оценки его состояния. Во-вторых, ориентация на развитие функциональных возможностей системы мониторинга, предполагающее расширение подлежащих контролю элементов ФУ. В результате была сформирована подсистема представления данных о структуре котлов в РБД, показанная на рисунке 4. В ней присутствуют четыре отношения, выполняющие функции справочников (выделены пунктирными рамками на рис. 4). Отношение «Свойства элемента» обеспечивает «открытость» множества свойств, которые могут приписываться группам однородных элементов, а остальные три справочника содержат текстовые наименования и общие характеристики однородных экземпляров соответствующих сущностей.

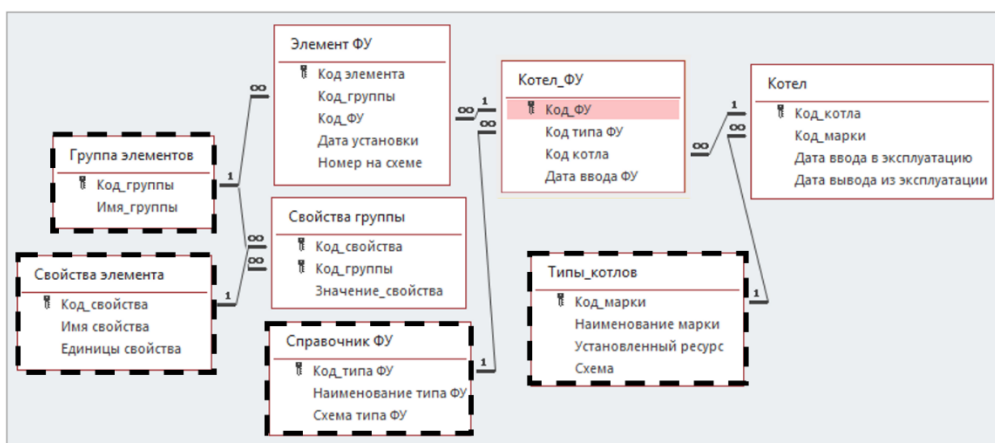


Рис. 4. Подсистема представления структуры котлов в РБД [12]

Этапы разработки структуры РБД системы мониторинга технического состояния энергетических котлов и ее итоговая схема представлены в работе [12]. Кроме данных о структуре энергетических котлов в БД представлены данные о режимах их работы и возможных состояниях, а также собственно данные мониторинга рабочих параметров и приборах, осуществляющих измерения параметров. Схема включает 17 отношений, из которых 6 выполняют роль «справочников», обеспечивающих как минимизацию ввода и хранения повторяющихся значений данных (прежде всего – текстовых), так и представление «открытых» наборов атрибутов описываемых сущностей.

В рамках разработки информационной технологии структурного синтеза схем многостадийных технологических обогащения минерального сырья [13, 14] формируется БД, содержащая данные о характеристиках минерального сырья и продуктов его переработки, а также об оборудовании, используемом в технологическом процессе. Отношения - справочники использовались как разработке подсистем представления сырья, так и оборудования.

Данные сырья и продуктов разделения представляют минералогический, химический и гранулометрический состав, структурно-текстурных особенности и физико-химических свойства минералов, а также результаты минералогических исследований продуктов разделения. «Открытость» наборов атрибутов представляемых в БД объектов этой группы обусловлена не только тем, что набор

характеристик различен для различных типов руд, но и может различаться для однотипного сырья разных месторождений или добываемого в различное время с одного месторождения. На рисунке 5 представлен фрагмент подсхемы данных, характеризующих минеральное сырье.

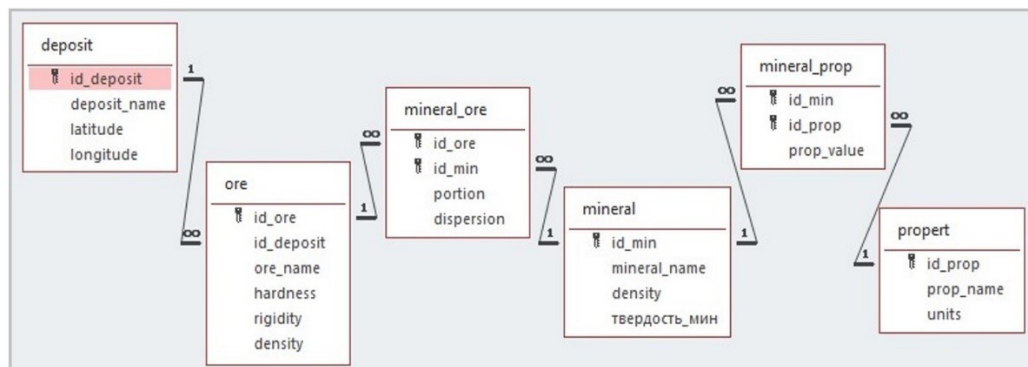


Рис.5. Фрагмент подсхема данных минерального сырья

Отношение ore (рис.5) обеспечивает хранение атрибутов, которыми характеризуются все руды. К ним, кроме наименования и принадлежности к месторождению, относятся: твердость, прочность и плотность. Данный перечень при необходимости может быть дополнен без изменения уже хранимых данных. Минералогический состав руд, как уже отмечено, различен. Причем практически любая руда содержит несколько минералов и минерал может входить в состав различных руд. То есть, между рудами и минералами имеет место связь «многие ко многим». Типовым решением корректной реализации связи этого типа в РБД является создание дополнительного отношения, имеющего два ссылочных ключа на участвующие в связи сущности. Таким отношением в разрабатываемой БД является отношение mineral_ore. Каждая запись этого отношения содержит данные о том, какова доля и гранулометрические параметры конкретного минерала, представленного в отношении mineral, в конкретной руде, представленной в отношении ore. Аналогичная ситуация имеет место при описании свойств минералов. Для всех минералов с точки зрения подлежащих решению задач синтеза схем обогащения существенными являются такие свойства как плотность и твердость. Поэтому они включены в качестве обязательных атрибутов в справочник минералов (mineral). Набор других свойств каждого минерала заносится в отношение mineral_prop, связывающего справочник минералов со справочником свойств propret.

Подобное решение используется и при формировании подсхемы данных оборудования, реализующего основные операции технологического процесса обогащения минерального сырья (уменьшение крупности, классификация по крупности, сепарация). Экземпляры оборудования каждой категории имеют как однотипные атрибуты (геометрические параметры, масса, стоимость, энергопотребление, производительность и др.), так и специфические для категории или группы аппаратов одной категории (параметры сит, сепарационные характеристики, «разделительные» силы/воздействия и др.). Кроме представления априорно известных атрибутов оборудования использование

справочников позволяет легко пополнять перечень характеристик, которые могут понадобиться как для формирования ограничений сочетаемости оборудования, так и для сравнительной оценки оборудования при развитии и совершенствовании используемых в разрабатываемой технологии моделей.

Заключение

Высокая универсальность и развитый единый формальный аппарат работы с РБД обеспечивает реляционным СУБД сохранение лидирующего места среди других решений в этой области. Однако, не смотря на наличие четкого формального аппарата и простых базовых элементов структуры, разработка прикладных РБД остается творческой задачей, допускающей различные варианты корректного решения. Представленные примеры разработки схем БД на основе реляционной модели показывают, что эта модель позволяет реализовать хранение достаточно сложных структур данных, характеризующих системы разнородных взаимодействующих объектов в различных предметных областях. При этом могут быть использованы аналогичные приемы организации реляционных отношений, обеспечивающие представление с минимальной управляемой избыточностью экземпляров объектов, обладающих неоднородными наборами атрибутов. Одним из таких приемов является описанное в настоящей работе использование отношений-справочников.

Список литературы

1. ГОСТ 20886-85 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ. Термины и определения. Data organization in data processing systems. Terms and definitions. МКС 01.040.35. ОКСТУ 4001. Дата введения 1986-07-01. [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015708> (дата обращения: 16.11.2021).
2. Сайт hosting data. [Электронный ресурс] // URL: <https://hostingdata.co.uk/nosql-database/> (дата обращения: 16.11.2021)
3. Сайт Oracle [Электронный ресурс] // URL: <https://www.oracle.com/ru/database/nosql/what-is-nosql/> (дата обращения: 27.10.2021)
4. Садаладж П. Дж., Фаулер М. NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных. М.: «Вильямс», 2013. 192 с.
5. Базы данных. Тенденции общемировые и в России. [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/post/533880/> (дата обращения: 12.10.2021)
6. Codd, E.F. The Relational Model for Database Management. Version 2. Addison Wesley Publishing Company, 1990. 538p.
7. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание.: Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1328 с.
8. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 3-е изд. М.: Вильямс, 2003. 1436 с.
9. Martin J. Principles of Data-Base Management. Prentice Hall, 1976. 352 p
10. Барунов О. Научные вызовы технологиям СУБД. 2010. [Электронный ресурс]: URL: http://www.citforum.ru/database/articles/scidb_scientific_challenges/ (дата обращения: 30.10.2021)
11. Michael Stonebraker. Errors in Database Systems, Eventual Consistency, and the CAP Theorem. 2010. [Электронный ресурс]: URL: <https://cacm.acm.org/blogs/>

- blog-cacm/83396-errors-in-database-systems-eventual-consistency-and-the-cap-theorem/fulltext# (дата обращения: 21.10.2021)
12. Олейник А.Г., Балбукова Е.В. Проектирование базы данных для мониторинга технического состояния энергетического котла // Информационные ресурсы России. 2021. № 1. С. 2-8.
 13. Zuenko A., Oleynik A., Oleynik Y., Birukov V., Nikitin R. Constraint Programming as an Approach for Structural Flowsheet Synthesis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1288. p.106–125.
 14. Олейник А.Г., Бирюков В.В., Никитин Р.М. Формальное определение элементов технологической схемы обогащения на основе анализа свойств перерабатываемого сырья // Труды Кольского научного центра. Информационные технологии. 11/2020. Вып. 11. С.57-66.

References

1. GOST 20886-85 MEZHGOSUDARSTVENNYJ STANDART ORGANIZACIYA DANNYH V SISTEMAH OBRABOTKI DANNYH. Terminy i opredeleniya. Data organization in data processing systems. Terms and definitions. MKS 01.040.35. OKSTU 4001. Data vvedeniya 1986-07-01. (In Russ.) Available at: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015708> (accessed 16.11.2021).
2. Hosting data. (In Russ.) Available at: <https://hostingdata.co.uk/nosql-database/> (accessed 16.11.2021)
3. Oracle (In Russ.) Available at: <https://www.oracle.com/ru/database/nosql/what-is-nosql/> (accessed 27.10.2021)
4. Sadalaj, P. J., Fowler M. NoSQL: novaya metodologiya razrabotki nerelyacionnyh baz dannyh [NoSQL. New methodology for developing non-relational databases]. M., Vil'yams, 2013, 192 p. (In Russ.).
5. Bazy dannyh. Tendencii obshchemirovye i v Rossii. Databases. [The trends are global and in Russia]. Available at: <https://habr.com/ru/post/533880/> (accessed 12.10.2021) (In Russ.).
6. Codd, E.F. The Relational Model for Database Management. Version 2. Addison Wesley Publishing Company, 1990, 538p.
7. Date, C. J. Vvedenie v sistemy baz dannyh [An Introduction to Database Systems.] 8-e izdanie. M, Vil'yames, 2005, 1328 p. (In Russ.).
8. Connolly T., Begg C. Bazy dannyh. Proektirovanie, realizaciya i soprovozhdenie. Teoriya i praktika. [Database Systems. A practical approach to design, implementation and management] 3-e izd. M, Vil'yams, 2003, 1436 p. (In Russ.).
9. Martin J. Principles of Data-Base Management. Prentice Hall, 1976. 352 p
10. Barunov O. Nauchnye vyzovy tekhnologiyam SUBD. [Scientific challenges to DBMS technologies]2010. Available at: http://www.citforum.ru/database/articles/scidb_scientific_challenges/ (accessed 30.10.2021) (In Russ.)
11. Michael Stonebraker. Errors in Database Systems, Eventual Consistency, and the CAP Theorem. 2010. Available at: <https://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/83396-errors-in-database-systems-eventual-consistency-and-the-cap-theorem/fulltext#> (accessed 21.10.2021)
12. Oleynik A.G., Balbukova E.V. Proektirovanie bazy dannyh dlya monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya energeticheskogo kotla [Designing of the Database for Monitoring a Power Boiler Technical Condition]. Informacionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]. 2021. N 1. p. 2-8. (In Russ.)

13. Zuenko A., Oleynik A., Oleynik Y., Birukov V., Nikitin R. Constraint Programming as an Approach for Structural Flowsheet Synthesis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1288. p.106–125.
14. Oleynik A., Birukov V., Nikitin R. Formal'noe opredelenie elementov tekhnologicheskoy skhemy obogashcheniya na osnove analiza svoystv pererabatyvaemogo syr'ya [Formal definition of the concentration flowsheet elements based on the analysis of the processing raw materials properties] *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra. Informacionnye tekhnologii*. [Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies] 11/2020.vip.11. p.57-66. (In Russ.)

Сведения об авторах

А.Г. Олейник — доктор технических наук, главный научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

A. G. Oleynik — Doctor of Science (Tech), Chief Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 140–147.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 140–147.

Научная статья
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.012

ИНТЕРНЕТ МОДЕЛЕЙ ВЕЩЕЙ ДЛЯ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАВИСИМЫХ ОТКАЗОВ

Александр Яковлевич Фридман✉

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

fridman@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Аннотация

Для продвижения от внутреннего подхода к оценке эффективности новой системы (по набору показателей, часто не отличающихся обоснованностью) к внешнему, гораздо более объективному, подходу, когда эта оценка производится по результатам работы новой системы в составе метасистемы, предлагается дополнить рождающийся Интернет вещей новым сектором – Интернетом ситуационных моделей вещей, то есть реализовать переход от Интернета вещей к Интернету вещей и моделей. Это позволит разработчикам новых устройств и систем обосновывать безопасность их включения в существующую среду, анализируя взаимосвязи с ранее специфицированными компонентами.

Ключевые слова:

ситуационное моделирование и управление, распределенная информационно-аналитическая ситуационная система, поиск и прогнозирование зависимых отказов

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036.

Для цитирования: Фридман А. Я. Интернет моделей вещей для ситуационного анализа и прогнозирования зависимых отказов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 140–147. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.012>.

Original article

INTERNET OF MODELS OF THINGS FOR SITUATIONAL ANALYSIS AND FORECASTING DEPENDENT FAILURES

Alexander Ya. Fridman✉

Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

fridman@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Abstract

To advance from the internal approach to assessing effectiveness of a new system (based on a set of indicators that often are not sufficiently grounded) to the external, much more objective, approach, when this assessment is made based on the results of functioning a new system as part of a metasystem, it is proposed to supplement the emerging Internet of Things (IoT) with a new sector – the Internet of Models of Things (IoMoT), that is, to implement the transition from the IoT to the IoTaM (Internet of Things and Models). This will allow developers of new devices and systems to justify safety from inclusion in the existing environment by analyzing their relationships with previously specified components.

Keywords:

situational modeling and control, distributed information-analytical situational system, search and forecasting of dependent failures

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036.

For citation: Fridman A. Ya. Internet of models of things for situational analysis and forecasting dependent failures // Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 140–147. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.012>.

Введение

В настоящее время оценка эффективности новых сложных систем и устройств обычно производится в рамках внутреннего подхода к оценке эффективности (по набору показателей, часто не отличающихся обоснованностью). Соответственно, результаты внедрения таких систем и устройств часто отличаются от расчетных, а в ряде случаев приводят возникновению нештатных и чрезвычайных ситуаций (НЧС) из-за недостаточного предварительного анализа взаимосвязей новых компонентов с уже существующими. Поэтому далее предлагается способ продвижения к внешнему, гораздо более объективному, подходу, когда эта оценка производится по результатам работы новой системы в составе метасистемы.

Обоснование такого предложения состоит в следующем:

- профилактика нештатных и чрезвычайных ситуаций (НЧС) не менее важна, чем оперативное реагирование на них;
- самые значительные ущербы наносят зависимые (сложные, комплексные) отказы (ЗСКО), порождающие цепочки событий, которые инициируют НЧС;
- существующие ситуационные центры (СЦ) специализированы для набора своих задач и слабо (или совсем не) взаимосвязаны.

Способ решения задачи

Цель проекта заключается в наделении СЦ новой функцией: обеспечение аккумуляции и комплексной интеллектуальной обработки разнородной информации о статических и динамических характеристиках потенциально опасных объектов, находящихся на подведомственной им территории, и их взаимосвязях для выявления возможностей ЗСКО.

Объектами моделирования в новой системе интеллектуальных СЦ являются промышленно-природные комплексы (ППК) – территории, экосистемы, технологии и т.д., их свойства существенно зависят от географических координат и от времени.

Актуальность задачи вызвана усложнением и взаимопроникновением ППК; ростом неопределенностей в мире из-за сложности и ускорения развития; увеличением доступности данных в связи с Интернетом Вещей (IoT).

Реализовать предложенный подход предлагается путем разработки самоорганизующейся распределенной информационно-аналитической ситуационной системы (ИАСС) для поиска и прогнозирования «узких мест» в структуре взаимосвязанных ППК с возможностью оценки ущербов от ЗСКО и обоснования рациональных мер по их предупреждению.

Новизна подхода состоит в интеграции средств изучения слабо формализованных сложных нестационарных пространственных объектов и

комплексном использовании экспертных знаний для формирования критериев и осуществления выбора предпочтительных вариантов реализации структуры ППК, изучаемых более детально в режиме имитационного моделирования. Уникальность ИАСС основана на формальных определениях всех элементов ситуационного подхода (ситуация, сценарий и т.п.) и наличии детализированных процедур автоматического контроля корректности модели на всех этапах ее создания и модификации, что позволяет оперативно уточнять модель по ходу исследования, не опасаясь роста ее сложности, сопоставлять складывающиеся на изучаемом объекте ситуации по важным для ЛПП показателям, выявлять наиболее эффективные (по предыдущему опыту и/или предпочтениям ЛПП) средства изменения состояния объекта в желательном направлении. Ядро ИАСС составляет открытая для оперативной модификации иерархическая ситуационная концептуальная модель (СКМ) ППК [1 - 3], отражающая его организационную структуру и взаимодействия между составными частями.

Теоретические основы СКМ разработаны достаточно полно, отдельные аспекты ситуационного моделирования ППК апробированы в ряде приложений [1 - 3]. Это улучшение процесса переработки минерального сырья на основе технологического графа для хибинских руд сложного вещественного состава; ретроспективный анализ состояния лесных экосистем с целью мониторинга их состояния в условиях техногенного воздействия; - оценка удароопасности горного массива в зоне горных работ; моделирование среднесрочных задач диспетчера в энергетике; выбор технологий обогащения сложного минерального сырья; технико-экономическая оценка рудных месторождений; исследование безопасности электроэнергетических систем путем защиты электрических сетей от перенапряжений.

ИАСС даст возможности полноценного использования СКМ как ядра системы ситуационного моделирования ППК различных масштабов и уровней подчиненности. Доказано, что СКМ позволяет реализовать все известные виды иерархий [4], при расширении зоны моделирования возможен переход от чисто иерархической к сетцентрической модели ППК с помощью нового метода количественного анализа ситуационной осведомленности ЛПП, ответственных за функционирование составных частей ППК [5 - 7].

Практическая значимость ИАСС заключается в адекватной реализации ситуационного подхода [8] к моделированию ППК в концептуальных пространствах [9, 10]. По алгоритмическому наполнению ИАСС относится к CASE-системам. Преимущества этой модели по сравнению с прототипами (наиболее близкий из них описан, например, в [11]), состоят в следующем:

- автоматизация всех этапов моделирования;
- широкое применение экспертных знаний для построения модели, управления логическим выводом, реализации «быстрых прототипов» элементов ППК;
- использование семантически значимых понятий предметной области для построения ее формального описания;
- использование ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов;
- поддержка современных сценарных подходов к моделированию;

- наличие средств детального формального анализа модели;
- развитый аппарат сопоставительного анализа ситуаций в статике и динамике;
- автоматический синтез исполнительной среды моделирования;
- использование единой инструментальной среды и методологии для моделирования как нормальных, так и критических режимов функционирования ППК;
- возможность интеграции знаний экспертов по различным аспектам функционирования ППК для обоснования принятия решений;
- возможность учета ситуационной осведомленности ЛПР, ответственных за функционирование составных частей ППК, при решении вопросов координации их взаимодействий.

Перспективы применения ИАСС в настоящее время локализуются в двух направлениях.

1. *В качестве исследовательской системы. Обоснование:* естественная способность ИАСС обеспечивать аккумуляцию разнородных знаний о ППК на основе их пространственной привязки. *Назначение:* выявление законов функционирования и взаимосвязей параметров ППК; поэтапная разработка многоуровневых ИАСС для регионального управления. *Эффект:* повышение информационной обеспеченности принимаемых решений; снижение риска нежелательных последствий этих решений; обоснование мероприятий по минимизации отрицательных воздействий.

2. *В качестве ситуационной системы поддержки принятия решений в СЦ [12 - 15]. Обоснование:* автоматизированная технология генерации проблемно-ориентированных ИАСС на основе универсальной исследовательской модели. *Назначение:* анализ ограниченного набора ситуаций; предоставление ЛПР алгоритмической поддержки для обоснования решений об изменении или сохранении структуры подчиненного ему объекта (альтернатива экспертному совету). *Эффект:* уменьшение затрат ресурсов на разработку специализированных прикладных систем без ущерба их эффективности.

Распределенная реализация СКМ позволяет решить вопросы правообладания и режимности применения локальных подмоделей составных частей ППК по аналогии с GRID-технологиями. Разработчики новых компонентов ППК смогут обосновывать безопасность включения своего объекта в структуру ППК, анализируя его взаимосвязи с другими компонентами, уже специфицированными в СКМ. Такой анализ может стать важной составной частью технико-экономического обоснования предполагаемых структурных решений и представляется существенным аспектом повышения их объективности в современном стиле цифровизации экономики России.

Возможности развития ИАСС определяются, естественно, финансовыми и календарными ограничениями, но также связаны с дополнением рождающегося Интернета вещей новым сектором – Интернетом моделей вещей (Internet of Models of Things – IoMoT), то есть с переходом от IoT (Internet of Things) к IoTaM (Internet of Things and Models). *Для повышения безопасности, целесообразно до встраивания новых устройств и систем в реальный мир встроить их модели в мир виртуальный.* С точки зрения системного анализа, это соответствует продвижению от внутреннего подхода к оценке эффективности новой системы

(по набору показателей, часто не отличающихся обоснованностью) к внешнему, гораздо более объективному, подходу, когда эта оценка эффективности производится по результатам работы новой системы в составе метасистемы.

Заключение

Выше предлагается дополнить рождающийся Интернет вещей новым сектором – Интернетом ситуационных моделей вещей, то есть реализовать переход от Интернета вещей к Интернету вещей и моделей. Это позволит разработчикам новых устройств и систем обосновывать безопасность их включения в существующую среду, анализируя взаимосвязи с ранее специфицированными компонентами. Суть задачи можно выразить формулой:

$$\text{IoT} + \text{IoMoT} = \text{IoTaM}.$$

Для подтверждения своевременности изложенного выше представляется уместным привести релевантные теме цитаты из выступлений спикеров недавней десятой конференции «Ситуационные центры: фокус кросс-отраслевых интересов – 2020».

«Для принятия управленческих решений сегодня недостаточно мониторинга и накопления больших объемов информации, а развитие технологий искусственного интеллекта невозможно без понимания и моделирования предметной области». /Николай Ильин/

«На предприятиях критической инфраструктуры, в органах госвласти появился запрос на российские ПО и технологии». /Елена Новикова/

«Мы больше доверяем аналитическим ИС, чем аналитикам». /Рашид Ахунов/

Список литературы

1. Фридман А.Я. Ситуационное моделирование иерархических динамических систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении, № 1/2018, с. 5-15.
2. 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.
3. Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4(71). С. 1-10.
4. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978.
5. Fridman A., Oleynik A. Modelling of Situation Awareness in Net-Centric Commercial Systems // Proc. 34th Eur. Simulation and Modelling Conf. (ESM-2020) Toulouse, France, Oct. 21-23, 2020, pp. 64-67.
6. 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 Пospelовской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова [Электронный ресурс]: научное электронное издание. — Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2020. С. 489-497.

7. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Возможности управления сетевыми системами на основе знаковых формализмов // Труды Кольского научного центра РАН, серия «Информационные технологии», вып. 11, 2020. – С. 161–165.
8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
9. Олейник А.Г., Фридман А.Я. Структура комплексных концептуальных пространств в междисциплинарных проектах // Труды КНЦ РАН, серия «Информационные технологии», вып. 11, 2020. С. 149–154.
10. Фридман А.Я. Концептуальные пространства как средство оценки ситуационной осведомленности при моделировании динамических иерархий // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. № 2 (10). С. 101–111.
11. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Имитационное моделирование систем: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
12. 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.
13. Бритков В.Б., Ройзензон Г.В., Фридман А.Я. Многокритериальный подход к оценке ситуационных центров // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. XV Всероссийская конференция (Москва, 13-14 октября). Сборник материалов. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2016. С. 26–28.
14. Бритков В.Б., Ройзензон Г.В., Фридман А.Я. Оценка ситуационных центров по многим критериям // Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления (СРСЦ-2017). Труды Всероссийского Форума. СПб.: Научный совет по информатизации Санкт-Петербурга, 2018. С. 83–85.
15. Alexander Ya. Fridman, Vladimir B. Britkov, Gregory V. Royzenzon. A GIS Application for Spatial Modelling and Forecasting in Situation Centres. International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2017), 1-4 July 2017, Sydney, Australia.

References

1. Fridman A.Ya. Situatsionnoye modelirovaniye iyerarkhicheskikh dinamicheskikh sistem [Situational modeling of hierarchical dynamical systems] // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], no. 1/2018, P. 5-15 (In Russ.).
2. Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. Formal'naya kontseptual'naya model' promyshlenno-prirodnogo kompleksa kak sredstvo upravleniya vychislitel'nykh eksperimentom [Formal conceptual model of an industrial-natural complex as a means of controlling computational experiments] // Trudy SPIIRAN [Proceedings of SPIIRAS]. 2014. No. 6 (37). P. 424-453 (In Russ.).
3. Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. Situatsionnoye modelirovaniye nadezhnosti i bezopasnosti promyshlenno-prirodnikh sistem [Situational modeling of reliability and safety of industrial-natural systems] // Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy [Information and control systems]. 2014. No. 4 (71). P. 1-10 (In Russ.).
4. Mesarovich M., Takahara J. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskiye osnovy [General theory of systems: mathematical foundations]. Moscow: Mir, 1978 (In Russ.).

5. Fridman A., Oleynik A. Modeling of Situation Awareness in Net-Centric Commercial Systems // Proc. 34th Eur. Simulation and Modeling Conf. (ESM-2020) Toulouse, France, Oct. 21-23, 2020, pp. 64-67.
6. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Kognitivnyy podkhod k otsenke situatsionnoy osvedomlennosti v setetsentricheskikh sistemakh grazhdanskogo naznacheniya [Cognitive approach to assessing situational awareness in network-centric systems for civil purposes] // Gibrnidnyye i sinergeticheskiye intellektual'nyye sistemy: materialy V Vserossiyskoy Pospelovskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem / pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. A.V. Kolesnikova [Elektronnyy resurs]: nauchnoye elektronnoye izdaniye — Kaliningrad: Izdatel'stvo BFU im. I. Kanta [Hybrid and synergetic intellectual systems: materials of the V All-Russian Pospelovskaya conference with international participation] / ed. Dr. tech. Sciences, prof. A.V. Kolesnikov [Electronic resource]: scientific electronic edition. - Kaliningrad: IKBFU Publishing House I. Kant, 2020.P. 489-497 (In Russ.).
7. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Vozmozhnosti upravleniya setetsentricheskimi sistemami na osnove znakovykh formalizmov [Possibilities of managing network-centric systems based on sign formalisms] // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, seriya «Informatsionnyye tekhnologii» [Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, series "Information Technologies"], vol. 11, 2020. - P. 161–165 (In Russ.).
8. Pospelov D.A. Situatsionnoye upravleniye: teoriya i praktika [Situational management: theory and practice]. Moscow: Nauka, 1986 (In Russ.).
9. Oleinik A.G., Fridman A.Ya. Struktura kompleksnykh kontseptual'nykh prostranstv v mezhdistsiplinarnykh proyektakh [The structure of complex conceptual spaces in interdisciplinary projects] // Trudy KNTS RAN, seriya «Informatsionnyye tekhnologii» [Proceedings of the KSC RAS, series "Information technologies"], vol. 11, 2020, pp. 149–154 (In Russ.).
10. Fridman A.Ya. Kontseptual'nyye prostranstva kak sredstvo otsenki situatsionnoy osvedomlennosti pri modelirovanii dinamicheskikh iyerarkhiy [Conceptual spaces as a means of assessing situational awareness in modeling dynamic hierarchies] // Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2018. No. 2 (10). P. 101-111 (In Russ.).
11. Emelyanov V.V., Yasinovsky S.I. Imitatsionnoye modelirovaniye sistem: Ucheb. posobiye [Simulation of systems: Textbook]. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman [M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman], 2009 (In Russ.).
12. 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.
13. Britkov V.B., Roizenon G.V., Fridman A.Ya. Mnogokriterial'nyy podkhod k otsenke situatsionnykh tsentrov [A multicriteria approach to assessing situational centers] // Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy. XV Vserossiyskaya konferentsiya (Moskva, 13-14 oktyabrya.). Sbornik materialov. M.: FKU Tsentr «Antistikhiya» MCHS Rossii [Problems of forecasting emergency situations. XV All-Russian Conference (Moscow, October 13-14.). Collection of materials. Moscow: FKU Center "Antistikhia" EMERCOM of Russia], 2016. P. 26–28 (In Russ.).
14. Britkov V.B., Roizenon G.V., Fridman A.Ya. Otsenka situatsionnykh tsentrov po mnogim kriteriyam [Assessment of situational centers according to many criteria] //

Sistema raspredelennykh situatsionnykh tsentrov kak osnova tsifrovoy transformatsii gosudarstvennogo upravleniya (SRSTS-2017). Trudy Vserossiyskogo Foruma. SPb.: Nauchnyy sovet po informatizatsii Sankt-Peterburga [The system of distributed situational centers as the basis for the digital transformation of public administration (SRSC-2017). Proceedings of the All-Russian Forum. Saint Petersburg: Scientific Council for Informatization of Saint Petersburg], 2018. P. 83–85 (In Russ.).

15. Alexander Ya. Fridman, Vladimir B. Britkov, Gregory V. Royzenson. A GIS Application for Spatial Modeling and Forecasting in Situation Centers. International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2017), 1-4 July 2017, Sydney, Australia.

Сведения об авторе

А. Я. Фридман — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the author

A. Ya. Fridman — Dr. of Tech. Sc., professor, Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 148–156.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 148–156.

Научная статья
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.013

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Сергей Юрьевич Яковлев¹, Алексей Сергеевич Шемякин²

^{1,2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

² *shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

Аннотация

В статье рассматриваются основные стратегические документы, связанные с предметной областью. Особое внимание уделяется анализу опасностей и рисков, вопросам техногенно-экологической безопасности, перспективам создания цифровых технологий. Также рассмотрены подходы к учёту неопределённости и риска, управлению ими.

Ключевые слова:

риски, чрезвычайные ситуации, промышленная безопасность

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема НИР № 0226-2019-0035)

Для цитирования: Яковлев С. Ю., Шемякин А. С. Нормативно-правовые основы управления развитием Северного морского пути // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 148–156. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.013>.

Original article

REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK FOR MANAGING THE DEVELOPMENT OF THE NORTHERN SEA ROUTE

Sergey Yu. Yakovlev¹, Alexey S. Shemyakin²

^{1,2} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

² *shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

Abstract

The article discusses the main strategic documents related to the subject area. Particular attention is paid to analysis of hazards and risks, issues of technogenic and environmental safety, the prospects for digital technologies creation. Approaches to accounting for uncertainty and risk, and their management are also considered.

Keywords:

risks, emergencies, industrial safety.

Funding

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (research topic No. 0226-2019-0035)

For citation: Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S. Regulatory and legal framework for managing the development of the Northern Sea Route // Transactions of the Kola Science Centre.

Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), Северный морской путь (СМП) привлекают в последнее десятилетие пристальное внимание исследователей.

В статье рассматриваются основные стратегические документы, связанные с предметной областью. Особое внимание уделяется анализу опасностей и рисков, вопросам техногенно-экологической безопасности, перспективам создания цифровых технологий.

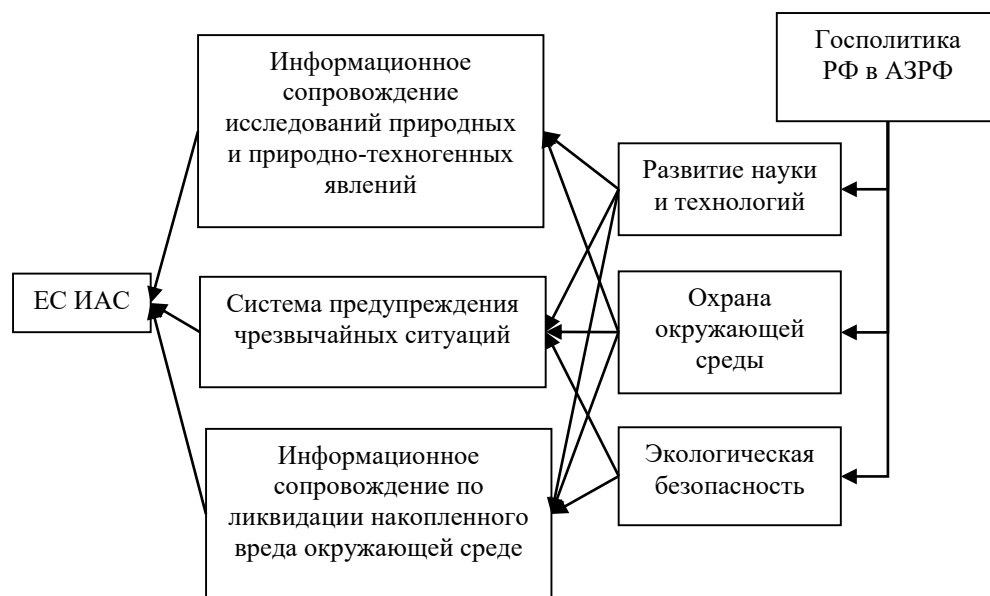
Основная часть

Указ [1] определяет Основы государственной политики в Арктике (на период до 2035 года) и является документом стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации.

Под Арктикой понимается северная полярная область Земли, а под АЗРФ - сухопутные территории, а также прилегающие к ним внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный шельф Российской Федерации.

Одними из основных направлений политики признаны развитие СМП и охрана окружающей среды. Отмечается недостаточный уровень инфраструктур: социальной, транспортной, коммуникационной и других. Среди целей государственной политики отмечены повышение качества жизни населения АЗРФ и ускорение экономического развития территорий. В числе основных векторов приложения усилий названы наука и технология, экологическая безопасность, защита от чрезвычайных ситуаций (ЧС) разнородного характера. Сформулированы основные социально-экономические задачи. В области развития инфраструктуры в том числе ставится цель организации системы борьбы с ЧС(Н) - чрезвычайными ситуациями, обусловленными разливами нефти и нефтепродуктов - на всей акватории СМП и других морских транспортных коридоров.

В число основных задач в сфере науки и технологий входят развитие критически важных для Арктики направлений: оборона и общественная безопасность; создание устойчивых к арктическим условиям материалов и техники; развитие исследований опасных явлений, включая их прогнозирование с учётом изменений климата, и смягчение угроз жизнедеятельности человека; ликвидация накопленного экологического вреда. Научно-техническое и нормативно-методическое сопровождение, пожарная безопасность входят в число основных задач в области защиты населения и территорий АЗРФ от разнородных ЧС. В качестве одного из механизмов реализации федеральной политики назван проект по организации общей информационно-аналитической системы мониторинга и управления развитием АЗРФ (см. рис. 1).



РФ – Российская федерация
 АЗРФ – Арктическая зона Российской Федерации
 ЕС ИАС – Единая статистическая информационно-аналитическая система

Рис. 2. Применение информационных технологий при реализации задач России в Арктической зоне

В указе [2], разработанном в соответствии с [1], перечислены специфические особенности АЗРФ, подлежащие учёту:

- а) аномальные параметры окружающей среды, малонаселённость и низкий уровень развития инфраструктуры;
- б) низкая устойчивость экологических систем, что особенно сильно проявляется в местах проживания коренного населения;
- в) глобальные изменения климата, имеющие как положительную, так и отрицательную составляющие;
- г) взаимосвязь с функционированием СМП;
- д) дискретный, очаговый характер освоения территорий АЗРФ, сложившаяся направленность на добычу, вывоз и экспорт природных ресурсов;
- е) высокий уровень зависимости хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения от внешних ресурсов;
- ж) обострение конкуренции в Арктике.

Отмечено, что особое значение СМП как транспортного коридора мирового значения будет возрастать в результате климатических изменений. Возможное наступление неблагоприятных экологических изменений порождает новые опасности как регионального, так и федерального и глобального характера. Сформулированы основные риск-формирующие факторы: глобальное потепление, сокращение численности населения, высокий уровень профессионального риска, отставание сроков развития инфраструктуры СМП, необеспеченность СМП средствами эвакуации и медицинской помощи, слабое развитие коммуникационного обеспечения, отставание скорости развития

аварийно-спасательного обеспечения и систем безопасности от темпов хозяйственного развития в АЗРФ и другие.

Указаны меры, обеспечивающие социальное развитие АЗРФ: система медицинской помощи экипажам судов, стационарных и плавучих платформ, а также ликвидация последствий аварий и ЧС. Необходим комплексный подход к развитию морских портов и морских путей, создание штаба морских операций по управлению судоходством, строительство судов, создание системы образования с учетом необходимости развития СМП, строительство портов-хабов, расширение использования сжиженного природного газа и другие меры.

Выполнение основных задач в сфере развития науки и технологий обеспечивается путем выделения приоритетных направлений научно-технологического развития, создания научно-образовательных центров, проведения мониторинга, оценки и прогнозирования развития науки и технологий.

В сфере охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности требуются ликвидация накопленного вреда, развитие государственного мониторинга с применением современных информационно-коммуникационных технологий и систем связи, развитие единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, в том числе ЧС(Н).

В сфере развития международного сотрудничества необходимо создание единой региональной системы поиска и спасания, предотвращения техногенных катастроф и ликвидации их последствий. В части защиты населения и территорий Арктической зоны от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера отмечаются следующие направления:

- а) оценка риска разнородных ЧС, прогнозирование и предупреждение ЧС;
- б) разработка средств и технологий для выполнения аварийно-спасательных мероприятий и борьбы с пожарами, обновление арктической авиации, развитие авиационного обеспечения и спасательных технологий в интересах защиты от авиационных ЧС;
- в) развитие методов и технологий защиты и эвакуации населения и защиты территорий при ликвидации разнородных ЧС;
- г) повышение устойчивости критически важных и опасных предприятий при ЧС в АЗРФ;
- д) развитие правовой и методической базы в сфере защиты от ЧС в АЗРФ;
- е) организация мониторинга и прогнозирования ЧС в АЗРФ, включая данные космического зондирования;
- ж) организация антикризисного управления в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС);
- з) создание (с учетом особенностей задач и условий) комплексных спасательных центров, развитие их функционала, связанного с предупреждением и ликвидацией ЧС;
- и) проведение учений, в том числе с участием арктических государств, по ликвидации природно-техногенных ЧС;
- к) выработка требований к оборудованию и средствам в случае радиационных ЧС в АЗРФ;
- л) создание технологий и средств эвакуации населения в случае ЧС.

В Мурманской области отмеченными в Стратегии основными направлениями являются: комплексное развитие единственного в Арктике незамерзающего российского порта Мурманск, развитие Мурманского транспортного мультимодального хаба, строительство в порту новых терминалов и комплексов; организация предприятий морехозяйственной инфраструктуры; возведение центра по строительству морских крупнотоннажных сооружений для различных технологических операций со сжиженным природным газом и для отработки морских месторождений.

Реализация Стратегии осуществляется в три этапа. Правительство РФ утверждает единый план мероприятий, в котором приведены этапы реализации Стратегии.

Распоряжением [3] введён комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Транспортный раздел плана определяет развитие коридора "Запад - Восток" (СМП), а также меры по модернизации портового обеспечения. Проект «Морские порты России» предусматривает развитие Мурманского транспортного узла, в т.ч. создание угольного терминала "Лавна" и федеральных объектов. В проект «СМП» включено строительство объектов Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, навигационное и гидрографическое обеспечение на трассах СМП, строительство для обеспечения аварийно-спасательных судов, строительство судов ледового класса различного назначения. Поставлена задача увеличения грузопотока по СМП до 80 млн. тонн.

Транспортный раздел плана предусматривает взаимодействие с проектом Минтранса России "Цифровой транспорт и логистика" в программе "Цифровая экономика РФ".

В качестве технологий обработки данных планируются геоинформационные средства и средства высокоточной навигации, информационное проектирование и моделирование (ВМ), цифровые образы средств и объектов, анализ данных, управление распределенными базами данных и другие.

Важной составной частью [3] для транспортной части плана являются рекомендации по анализу рисков выполнения проектов и управлению указанными рисками.

Наиболее значимые по источнику внешние риски: макроэкономические, государственного регулирования, рыночные, налоговые, технологические.

Макроэкономические риски — это риски федерального уровня, характеризующие экономическую ситуацию для РФ в целом, например, инфляция и рост цен. Мерами по уменьшению рисков являются: взаимодействие с государственными органами и основными потребителями услуг, с полным и объективным информированием их о потенциальных негативных последствиях принимаемых решений; реализация комплекса мер по повышению эффективности и долгосрочные договоры с поставщиками.

Риски государственного управления — это сбои в финансировании; дефицит бюджета; недостатки нормативно-правовой базы; понижение качества работ и другие. Возможные направления смягчения рисков: внедрение новых механизмов и технологий финансирования; оптимизация технических решений по капитальным проектам; разделение проектов на этапы и их реализация в приоритизированном порядке.

Рыночные опасности и риски — это непрогнозируемые отклонения значений параметров из-за колебаний рынков; изменение социально-экономической ситуации в стране; рост цен на товары и услуги; разнородность участников и т.д. Снизить рыночные риски может повышение гибкости и расширение бизнеса, развитие новых логистических направлений.

К налоговым рискам относятся: повышение нагрузки из-за изменений в налоговой политике на федеральном уровне; изменение акцизных доходов и другие. Снизить налоговые риски позволяет постоянное взаимодействие с органами власти - федеральными и региональными.

К технологическим рискам отнесены: возможности видов транспорта (мощности портов, складов); уровни развития автомобилизации и дорожной сети; природные ЧС. В качестве мер смягчения этих рисков указано активное взаимодействие с компаниями и контрагентами с целью координации и возможной корректировки инвестиционных программ.

В результате строится матрица рисков, в которой отражено влияние изменений внешних факторов на основные параметры проектов.

Для энергетической части плана поставлена цель внедрения риск-ориентированного управления. Предусматривается оценка рисков аварий; внедрение предикативной аналитики; дистанционная оценка готовности к отопительному сезону. Планируется повышение полноты, достоверности и оперативности сбора исходной информации для расчета надежности оказания услуг на основе цифровой топологии сети; внедрение интеллектуальных систем управления, функционирующих на принципах поддержки единого информационного пространства.

Планы реализации крупных инвестиционных проектов в АЗРФ, направленные на развитие СМП, на основании решений Государственной комиссии по вопросам развития Арктики передаются в Правительство РФ на утверждение. План развития инфраструктуры СМП на период до 2035 года утверждён распоряжением [4]. Он нацелен на развитие морских портов и терминалов, ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флота; всестороннего обеспечения мореплавания в северных широтах (в первую очередь по Северному морскому пути), авиационной и железнодорожной сети, безопасности мореплавания и связи, энергетических мощностей, кадрового обеспечения, медицинской помощи, отечественного судостроения.

Анализ нормативных актов Российской Федерации, посвящённых развитию Арктической зоны, показывает, что этому направлению придаётся особое значение. Выделены вопросы развития транспортной инфраструктуры СМП и (сопутствующей ей) информационно-коммуникационной структуры. Важная роль отводится информационно-аналитическому сопровождению развития Арктики. Реализации проектов по социально-экономическому развитию северных территорий сопутствуют риски, которые необходимо учитывать при планировании и реализации проектов. Как видно, в документах [1-4] этим особенностям управления развитием АЗРФ уделено существенное внимание.

Перейдём к вопросам возможного учёта этих факторов. Предыдущие исследования авторов [5, 6] были посвящены задачам управления региональными промышленно-природными рисками. Неопределённость интерпретируется как неполнота, неточность информации, а риск является количественной мерой

опасности. Неопределённость трактуется как один из атрибутов (одна из составляющих) возможной опасности (риска).

Предложен подход к учету неопределённости при управлении региональной безопасностью. Охарактеризованы этапы управления и свойственные им виды неопределённости. Представлены релевантные методы формализации неопределённостей. Предложена возможная оптимизация уровня неопределённости, отражающая двойственную природу (плюсы и минусы) принимаемых решений и основанная на расчёте интегрированного критерия эффективности. Сопоставление оценок возможного ущерба с оценками возможной выгоды способствует принятию сбалансированного решения с приемлемым уровнем риска.

Построен обобщённый алгоритм управления безопасностью, ориентированный на работу с неопределённостями. Проведена систематизация основных методов учета неопределённости в управлении риском и смежных областях, выявлены их общие закономерности и ключевые особенности. На основе результатов анализа создана концептуальная модель измерения параметрической неопределённости, отличающаяся свойствами унифицированности и конструктивности.

Предложены классификация неопределённостей, ориентированная на задачи управления региональными техногенно-природными рисками, а также алгоритм учета неопределённости, реализующий поддержку принятия решений по управлению безопасностью в этих задачах. Разработан информационный шаблон типового планирующего нормативного документа по учету неопределённости для уровня потенциально опасных объектов региона.

Подводя итог изложенным подходам к учёту неопределённости и риска, управлению ими, можно отметить следующие общие закономерности, относительно независимые от предметной области.

1. Необходимо создание моделей объекта управления и системы управления. Эти модели включают в себя следующие атрибуты: цели и задачи управления (сценарии развития), требования к особенностям функционирования в различных режимах, входные и выходные данные, описание системы мониторинга и передачи данных и т.д.

2. Необходимо выполнить идентификацию неопределённостей и рисков для предметной области (объект и система управления), обосновать применение методов оценки и управления рисками.

3. Следует обосновать варианты снижения (смягчения) влияния неопределённостей и рисков на эффективность управления.

В дальнейшем планируется рассмотреть с этих позиций вопросы учёта неопределённости и риска в управлении развитием арктических регионов и, в особенности, Северного морского пути.

Заключение

Вопросы информационно-аналитической поддержки управления с учётом факторов неопределённости и риска представляют несомненную актуальность. С этих позиций выполнен анализ основных федеральных документов, относящихся к важному и современному направлению российской политики - развитию АЗРФ и СМП.

Рассмотрены возможные подходы к формализации процессов управления безопасностью в условиях неопределённости. В дальнейшем планируется адаптировать описанные подходы с целью разработки информационных технологий управления безопасностью развития промышленно-природных комплексов АЗРФ.

Список сокращений

ВИМ - информационное проектирование и моделирование

АЗРФ - Арктическая зона Российской Федерации

СМП - Северный морской путь

ЧС – чрезвычайные ситуации

ЧС(Н) - чрезвычайные ситуации, обусловленные аварийными разливами нефти и нефтепродуктов

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года».
2. Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2018 г. № 2101-р (ред. от 20.02.2021).
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2019 г. № 3120-р.
5. 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.
6. Яковлев С.Ю., Маслобоев А.В., Шемякин А.С. Неопределенность в задачах управления региональной промышленно-экологической безопасностью // Информационно-технологический вестник. 2020. №3(25). С.142-158.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 05.03.2020 № 164 «Ob Osnovah gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2035 goda».
2. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 26 oktyabrya 2020 g. № 645 «O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 goda».
3. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30 sentyabrya 2018 g. № 2101 r (red. ot 20.02.2021).
4. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 21 dekabrya 2019 g. № 3120 r.
5. YAKovlev S.YU. Problema uchyota neopredelyonnosti pri upravlenii regional'noj bezopasnost'yu // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. -3/2017(8). Informacionnye tekhnologii. – Vyp. 8. – Apatity: Izd-vo KNC RAN, 2017. – S.54-61.
6. YAKovlev S.YU., Masloboev A.V., SHemyakin A.S. Neopredelennost' v zadachah upravleniya regional'noj promyshlennenno-ekologicheskoy bezopasnost'yu // Informacionno-tekhnologicheskij vestnik. 2020. №3(25). S.142-158.

Сведения об авторах

А. С. Шемякин — младший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

С. Ю. Яковлев — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

A. S. Shemyakin — Junior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

S. Yu. Yakovlev — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ THEORY AND PRACTICE OF SYSTEM DYNAMICS

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 157–160.

Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 157–160.

Тезисы

УДК 004.9, 681.5, 338.24

DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.014

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНАЛЬНЫХ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР

**Владимир Александрович Путилов¹, Андрей Владимирович Маслобоев²,
Виталий Викторович Быстров³**

^{1, 2, 3}Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН,
Апатиты, Россия

¹putilov@iimm.ru,

²masloboev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

³bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

Аннотация

В работе предложена единая методологическая база информационно-аналитической поддержки сетецентрического управления социально-экономической безопасностью региона. Задача обеспечения региональной безопасности рассматривается на уровне управления рисками нарушения жизнеспособности критических инфраструктур социально-экономических систем. Методология и средства ее реализации предназначены для информационно-аналитического обеспечения ситуационных центров региона.

Ключевые слова:

методология, информационная поддержка, безопасность, управление, критическая инфраструктура, регион

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИИММ КНЦ РАН (тема НИР № 0226-2019-0035) и частично поддержана РФФИ (проект 19-07-01193).

Для цитирования: Путилов В. А., Маслобоев А. В., Быстров В. В. Методологическая база информационной поддержки управления безопасностью региональных критических инфраструктур // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 157–160. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.014>.

Theses

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SECURITY MANAGEMENT INFORMATION SUPPORT OF REGIONAL CRITICAL INFRASTRUCTURES

Vladimir A. Putilov¹, Andrey V. Masloboev², Vitaliy V. Bystrov³

^{1, 2, 3}Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

¹putilov@iimm.ru,

²masloboev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

³bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

Abstract

The unified methodological basis of information and analytical support of socio-economic security network-centric control in the region is proposed. The problem of regional security support is discussed at the level of risk-management of critical infrastructure resilience violation of the socio-economic systems. The methodology and tools for its implementation are aimed to information and analytical support of situational centers functioning in the region.

Keywords:

methodology, information support, security, management, critical infrastructure, region

Funding

The work was carried out within the framework of the State Research Program of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of RAS (project No. 0226-2019-0035) and was partially sponsored by the Russian Foundation for Basic Research under grant No. 19-07-01193.

For citation: Putilov V. A., Masloboev A. V., Bystrov V. V. Methodological foundations of security management information support of regional critical infrastructures // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 157–160. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.014>.

Современные тенденции и высокие темпы развития социально-экономических систем приводят к возникновению ряда новых задач, как по оперативному, так и по стратегическому управлению безопасностью и жизнеспособностью этих систем [1]. Особенно наглядно это проявляется на региональном уровне управления. Эти задачи требуют учета высокой степени неопределенности и рисков как результата постоянно меняющейся внутренней и внешней среды региона, высокой динамики его регуляторов рынка, быстрого распространения новых технологий и развития цифровой экономики.

В целях создания условий для обеспечения рискоустойчивого развития региональной экономики разработана методологическая база информационно-аналитической поддержки сетевидного управления социально-экономической безопасностью региона [2, 3]. Методология интегрирует модели и программно-аппаратные средства, обеспечивающие поддержку всех этапов управленческой деятельности в области формирования региональной социально-экономической политики с учетом потребностей и возможностей всех заинтересованных лиц и участников процессов обеспечения региональной безопасности. Концептуальная схема методологии показана на рис. 1. Использование сетевидного подхода в комбинации с другими методами распределенного управления обеспечивает непрерывный мониторинг, прогнозирование и сценарный анализ рисков безопасности региональных социально-экономических систем. Для повышения качества управленческих решений предложено рассматривать задачи обеспечения безопасности региона на уровне управления рисками нарушения жизнеспособности критических инфраструктур социально-экономических систем [4]. Методология и средства ее реализации предназначены для информационно-аналитического обеспечения региональных ситуационных центров.



Рис. 1. Методологическая база информационной поддержки сетецентрического управления социально-экономической безопасностью региона

Результаты исследования и сформированные на их основе рекомендации нашли применение при решении задач информационной поддержки управления региональной безопасностью Мурманской области, а также использованы при реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года (утверждена Указом Президента Российской Федерации № 645 от 26 октября 2020 года) [5] на территории Мурманской области в части разработки методов и средств поддержки принятия решений для информационно-аналитического обеспечения региональных ситуационных центров Мурманской области.

Список литературы

1. Маслобоев А. В., Быстров В. В. Концептуальная модель жизнеспособности критических инфраструктур в контексте современной теории безопасности сложных систем // Экономика. Информатика. 2020. Т. 47, № 3. С. 555-572.
2. Bystrov V., Masloboev A., Putilov V. Information support tools for regional security management in the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. vol. 302. P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012013
3. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КИЦ РАН, 2016. 222 с.
4. Masloboev A. V. Towards a theory of regional critical infrastructure security and resilience // Reliability and Quality of Complex Systems. 2020. no. 4(32). pp. 115-130.
5. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645). [Электронный ресурс] URL:

<http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/J8FhckYOPAQQfxN6Xlt6ti6XzpTVAvQu.pdf> (дата обращения: 09.09.2021).

References

1. Masloboev A.V., Bystrov V.V. Kontseptual'naya model' Zhiznesposobnosti kriticheskikh infrastruktur v kontekste sovremennoy teorii bezopasnosti slozhnykh sistem [Conceptual model of Critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security]. *Ekonomika. Informatika [Economics. Informatics]*, 2020, vol. 47, no. 3, pp. 555-572. (In Russ.).
2. Bystrov V., Masloboev A., Putilov V. Information support tools for regional security management in the Arctic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 302, P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012013
3. Masloboev A.V., Putilov V.A. *Informatsionnoe izmerenie regional'noy bezopasnosti v Arktike* [Information dimension of regional security in the Arctic]. Apatity, KSC RAS, 2016: 222 p. (In Russ.)
4. Masloboev A.V. Towards a theory of regional critical infrastructure security and resilience. *Reliability and Quality of Complex Systems*, 2020, no. 4(32), pp. 115-130.
5. *O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti na period do 2035 goda* [Strategy of the Arctic region development and national security ensuring of Russian Federation until 2035]. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/J8FhckYOPAQQfxN6Xlt6ti6XzpTVAvQu.pdf> (accessed 09.09.2021).

Сведения об авторах

В. А. Путилов – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, научный руководитель ИИММ КНЦ РАН;

А. В. Маслобоев – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

В. В. Быстров – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

V. A. Putilov – Honoured Science Worker of the Russian Federation, Doctor of Science (Tech.), Professor, Research Supervisor of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

A. V. Masloboev – Doctor of Science (Tech.), Associate Professor, Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

V. V. Bystrov – Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 161–165.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 161–165.

Тезисы

УДК 004.94, 338.24

DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.015

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ РАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА ПО ПЕРИОДАМ ОТРАБОТКИ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОГРАНИЧЕНИЯХ

Александр Анатольевич Зуенко¹, **Юрий Андреевич Олейник²**, **Роман Александрович Македонов³**

^{1, 2, 3} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ zuenko@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

² yoleynik@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6817-2496>

³ makedonov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0184-7858>

Аннотация

Работа направлена на решение трехмерной задачи поиска положений рабочего борта карьера по периодам отработки с учетом априорно заданной производительности по полезному ископаемому и вскрышным породам. В предлагаемом методе используется блочная модель карьера, где для каждого блока известны его координаты, содержание в нем полезного ископаемого и условная начальная ценность блока. Также задана функция дисконтирования – изменение итоговой ценности блока в зависимости от периода его разработки. Задача заключается в нахождении распределения блоков по периодам разработки максимизирующего суммарную итоговую ценность блоков. Ускорение комбинаторного поиска достигается за счет представления ряда технологических ограничений в виде глобальных ограничений.

Ключевые слова:

программирование в ограничениях, задача удовлетворения ограничений, распространение ограничений, вывод на ограничениях, интеллектуальное планирование, открытые горные работы, целочисленное линейное программирование, развивающаяся модель предметной области

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и Российского фонда фундаментальных исследований - проекты №№ 20-07-00708а, 19-07-00359а.

Для цитирования: Зуенко А. А., Олейник Ю. А., Македонов Р. А. Планирование положений рабочего борта карьера по периодам отработки в рамках парадигмы программирования в ограничениях // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 161–165. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.015>.

Theses

PLANNING OF THE OPEN-PIT WORKING EDGE POSITIONS BY THE PERIODS OF MINING WITHIN THE CONSTRAINT PROGRAMMING PARADIGM

Alexander A. Zuenko¹, **Yurii A. Oleynik²**, **Roman A. Makedonov³**

^{1, 2, 3} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling — Subdivision of the Kola Science Centre of RAS, Apatity, Russia*

¹ zuenko@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

² yoleynik@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6817-2496>

³ makedonov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0184-7858>

Abstract

The work is aimed at solving the three-dimensional problem of finding the open-pit working edge positions by the periods of mining, taking into account the a priori specified productivity for the mineral and overburden. The proposed method uses a block model of a pit, where for each block its coordinates, the content of minerals in it, and the conditional initial value of the block are known. Also, a discounting function is set - a change in the total value of a block, depending on the period of its mining. The task is to find the distribution of blocks over mining periods that maximizes the total value of the blocks. Combinatorial search acceleration is achieved by representing a number of technological constraints in the form of global constraints.

Keywords:

constraint programming, constraint satisfaction problem, constraint propagation, constraint inference, smart scheduling, open pit mining, integer linear programming, evolving domain model

Funding

The work was supported by RFBR, project numbers 20-07-00708a, 19-07-00359a.

For citation: Zuenko A. A., Oleynik Yu. A., Makedonov R. A. Planning of the open-pit working edge positions by the periods of mining within the constraint programming paradigm // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 161–165. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.015>.

Настоящая работа направлена на решение задачи поиска положений рабочего борта карьера по периодам отработки с учетом априорно заданной производительности по полезному ископаемому (ПИ) и вскрышным породам (ВП). В качестве исходных данных задачи выступает объемная модель геологической среды, которая представляет собой равномерную сетку (рис. 1), причем размеры ячейки сетки (блока) предопределены заранее. Конечное и начальное (на момент начала планирования) положения борта карьера ограничивают пространство геологической среды.

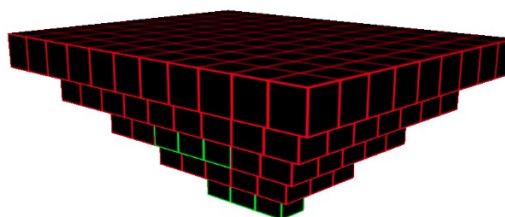


Рис. 1. Пример объемной модели геологической среды

Требуется определить такие положения рабочих бортов по периодам отработки, чтобы объемы ПИ и ВП, заключенные между последовательными положениями, соответствовали заданным с точностью до допустимой погрешности, при этом итоговая выгода (сумма ценностей блоков) от разработки карьера должна быть максимальной. Развитие карьера – его углубление и расширение – происходит с соблюдением технических ограничений (ширина рабочей площадки) и технологических на то, какие блоки должны быть вынуты перед тем, как будет вынут заданный. Исходная ценность каждого блока меняется в зависимости от года его добычи.

Алгоритм планирования разработан в рамках парадигмы программирования в ограничениях (Constraint Programming) [1] и перебирает все варианты выемки блоков в поисках оптимального по итоговой стоимости работ решения с учетом технологических ограничений.

Модель геологической среды описывается с помощью специализированной таблицы. Каждая строка описывает один блок карьера и содержит информацию о координатах блока, размерах блока, ценности блока и процентном содержании ПИ в блоке. Объем блока вычисляется из его размеров, этот объем в свою очередь разделяется на объем ВП и ПИ в соответствии с заданным для блока содержанием ПИ.

В парадигме программирования в ограничениях задача планирования открытых горных работ ставится следующим образом: каждому блоку карьера сопоставляется целочисленная переменная X_{ijk} , которая может принимать значения от 1 до N , где N – номер последнего возможного года работ, требуется конкретизировать значение каждой такой переменной при выполнении ряда ограничений. Первые попытки использовать парадигму программирования в ограничениях для решения данной задачи были предприняты в [2].

На текущий момент в задаче учитываются следующие ограничения: а) ограничения на порядок извлечения блоков; б) ограничения на заданную производительность по полезному ископаемому и вскрышным породам; в) оптимизационное ограничение на максимизацию выгоды от разработки карьера. Однако в рамках предложенного метода, нет принципиальных ограничений на то, чтобы обрабатывать ограничения и других типов. Решение задачи состоит в том, чтобы назначить всем переменным X_{ijk} целочисленные значения таким образом, чтобы одновременно выполнялись все перечисленные выше ограничения. Разберем семантику используемых ограничений более подробно.

Рассмотрим каждый тип ограничения из приведенного выше списка более подробно.

Ограничение на порядок извлечения блоков обеспечивает последовательную разработку карьера, исключая технологически невозможные варианты выемки блока. Правила извлечения блоков задают принципы заглубления и расширения работ в пространстве карьера и должны описывать полную минимальную конфигурацию извлекаемых блоков. В качестве примера рассмотрим следующее простейшее ограничение: для разработки одного блока в текущий год необходимо чтобы блок над ним и его соседи были разработаны в этот же год, либо ранее (рис. 2). Ограничение формулируется следующим образом: для выемки блока $X_{i,j,k}$, где i, j, k – координаты блока, необходимо выкопать блоки $X_{i,j,k+1}$, $X_{i-1,j,k+1}$, $X_{i+1,j,k+1}$, $X_{i,j-1,k+1}$, $X_{i,j+1,k+1}$, другими словами, необходимо извлечь пять вышележащих блоков при их наличии. Либо можно представить 5 «лучей» различных типов, исходящих из исходного(нижнего) блока вверх (рис. 3). Типы лучей различаются по разности координат блоков «луча», т.е. по направлению его распространения. Для блоков каждого типа «луча» можно задать глобальное ограничение sort, гарантирующее, что переменные X блоков в «луче» расположены в убывающем порядке. При этом каждый блок может быть задействован только 5 подобных ограничениях – по одному на каждый тип «луча».

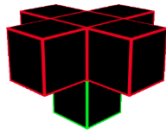


Рис. 2. Простейшая схема извлечения блоков

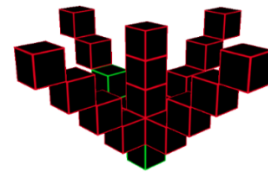


Рис. 3. Схема извлечения блоков с «лучами»

Ограничения на заданную производительность по полезному ископаемому и вскрышным породам моделируются линейными неравенствами. Пусть o_{ijk} – это константа, показывающая содержание руды в блоке с индексами i, j, k ; w_{ijk} – это константа, показывающая содержание вскрышных пород блоку с индексами i, j, k . Обозначим O – заданная производительность по полезному ископаемому, ΔO – допустимая погрешность O , W – заданная производительность по вскрышным породам, ΔW – допустимая погрешность W . Тогда ограничения на заданную производительность по полезному ископаемому и вскрышным породам можно выразить в виде неравенств:

$$O - \Delta O \leq \sum_{i,j,k} o_{ijk}(X_{ijk} = y) \leq O + \Delta O \text{ для каждого } y \in [1 \dots M],$$

$$W - \Delta W \leq \sum_{i,j,k} w_{ijk}(X_{ijk} = y) \leq W + \Delta W \text{ для каждого } y \in [1 \dots M].$$

Ограничение $\sum_{i,j,k} o_{ijk}(X_{ijk} = y) \leq O + \Delta O$ для каждого $y \in [1 \dots M]$ по сути является формулировкой задачи упаковки контейнеров (bin-packing) для N контейнеров вместимостью $O + \Delta O$. Для решения этой задачи существует типовое глобальное ограничение binpacking. Вторую часть неравенства также можно привести к задаче bin-packing, следующим образом:

$$(-1) * \sum_{i,j,k} o_{ijk}(X_{ijk} = y) \leq (-1) * (O - \Delta O).$$

Таким образом, ограничение на заданную производительность по полезному ископаемому и ограничение на заданную производительность по вскрышным породам преобразуются в 4 задачи bin-packing – для верхней и нижней границы допустимого диапазона значений каждого из ограничений.

Наконец, рассмотрим стратегию поиска и основные эвристики, применяемые для нахождения решения задачи *Open Pit Mining* как задачи *CSP*. В качестве алгоритма поиска используется поиск в глубину с возвратами. Перед запуском процедуры поиска переменные упорядочиваются: в начало списка помещаются переменные, соответствующие блокам с рудой, а затем переменные, соответствующие блокам, содержащим только вскрышную породу. При прочих равных выбирается переменная с наименьшим размером области определения (с наименьшим доменом). При выборе значения переменной руководствуемся следующим правилом: выбираем наименьшее значение в домене.

Список литературы

1. Ruttkay Zs. Constraint satisfaction a survey // *CWI Quarterly*. 1998. Vol. 11. P. 163–214.
2. Caccetta Zs. Application of optimisation techniques in open pit mining // *Handbook of Operations Research in Natural Resources*. 2007. P. 547–559.

References

1. Ruttkay Zs. Constraint satisfaction a survey. *CWI Quarterly*. 1998. Vol. 11. pp. 163–214.
2. Caccetta Zs. Application of optimisation techniques in open pit mining. *Handbook of Operations Research in Natural Resources*. 2007. pp. 547–559.

Сведения об авторе

А. А. Зуенко — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Ю. А. Олейник — младший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Р. А. Македонов — младший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the author

A. A. Zuenko — PhD (Tech.), Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling — Subdivision of the Kola Science Centre of RAS.

Y. A. Oleynik — Junior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling — Subdivision of the Kola Science Centre of RAS.

R. A. Makedonov — Junior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling — Subdivision of the Kola Science Centre of RAS.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 166–170.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 166–170.

Тезисы
УДК 004.853
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.016

ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ ОНТОЛОГИИ

Павел Андреевич Ломов^{1✉}, **Марина Леонидовна Малоземова**²

^{1,2} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *lomov@iimm.ru*[✉], <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

² *malozemova@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

Аннотация

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

Ключевые слова:

нейронная сеть, пополнение онтологий, обучений онтологий

Финансирование

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

Для цитирования: Ломов П. А., Малоземова М. Л. Технология обучения нейросетевой модели для пополнения онтологий // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 166–170. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.016>.

Theses

TECHNOLOGY OF TRAINING A NEURAL-NETWORK MODEL FOR ONTOLOGY POPULATION

Pavel A.Lomov^{1✉}, **Marina L.Malozemova**²

^{1,2} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *lomov@iimm.ru*[✉], <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

² *malozemova@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

Abstract

The paper considers one of the subtasks of ontology learning - the ontology population, which implies the extension of existing ontology by new instances without changing the structure of its classes and relations. A brief overview of existing ontology learning approaches 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.

Keywords:

neural network, ontology population, ontology learning

Funding

The study was funded by RFBR, project number 20-07-00754 A.

For citation: Lomov P. A., Malozemova M. L. Technology of training a neural-network model for ontology population // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 166–170. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.016>.

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 общей концептуализации [1,2]. Однако разработка онтологий 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. Решение данных проблем рассматривается в рамках задачи обучения онтологий (ontology learning), которую можно рассматривать как реконструирование из текста модели предметной области, изначально сформированной в сознании эксперта – автора текста [3,4]. Как правило, обучение онтологий предполагает анализ и извлечение из текстов терминов предметной области, их последующую группировку для определения классов онтологий и отношений между ними. Подходы к обучению онтологий отличаются техниками, которые применяются на разных этапах анализа текстов и формирования онтологий. Среди данных техник можно выделить: тегирование частей речи (part-of-speech tagging), синтаксический разбор и лемматизация, извлечение терминов с помощью фреймов субкатегоризации (subcategorization frames) и “посева” слов (seed words) [5], сравнительного анализа [6], анализа смежности (co-occurrence analysis), латентно-семантического анализа (LSA) и кластеризации [7], формирование структуры онтологии путем анализа зависимостей (dependency analysis), категоризации терминов (term subsumption), анализа формальных понятий (formal concept analysis, FCA), иерархической кластеризации (агломеративной [8] разделяющей [9]) и анализа ассоциативных правил (association rule mining).

Предлагаемая в данной работе технология ориентирована на решение одной из подзадач обучения онтологий, а именно пополнение онтологии экземплярами классов, предполагает использование существующих в онтологии понятий для обнаружения в текстах предметной области семантически близких к ним новых понятий. 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 распознавания именованных сущностей (Named Entity Recognition, NER). Данная задача состоит в выделении и классификации именованных сущностей в тексте. 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 технологии представлена на рис. 1

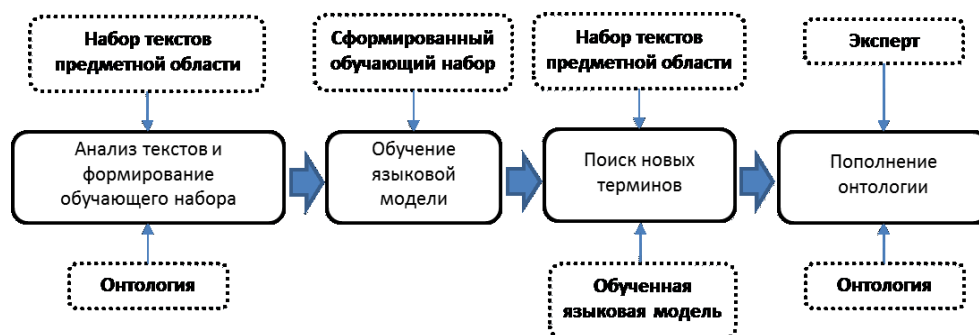


Рис. 1. Схема применения технологии пополнения онтологии

Эффективность предложенной технологии оценивалась в рамках эксперимента по обучению языковой модели и ее последующего использования для пополнения онтологии хозяйственной деятельности в Арктике [10]. Для обучения модели 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 сформированном вручную тестовом наборе аналогичной структуры. Для сравнения оценивалась также и мультязычная (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:

- мультязычная 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:

- мультязычная 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. 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 онтологии. С другой стороны, причиной малых результатов поиска новых понятий может быть небольшое количество экземпляров у классов, что также не позволяет сформировать для обучения модели достаточное разнообразие контекстов для обнаружения новых понятий. Исходя из полученных результатов, в рамках дальнейшего исследования следует обеспечить увеличение объема обучающего набора и повысить разнообразие входящих в него примеров.

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.

Список литературы

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 T. 25 C. 161–197.
2. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications // *Knowl. Acquis.* 1993 T. 5 № 2 C. 199–220.
3. Somodevilla M., Ayala D., Pineda I. An overview on ontology learning tasks // *Comput. Sist.* 2018 T. 22.
4. Chen J. и др. Smart data integration by goal driven ontology learning. 2017 C. 283–292.
5. Hwang C. Incompletely and Imprecisely Speaking: Using Dynamic Ontologies for Representing and Retrieving Information // 1999.
6. Navigli R., Velardi P. Semantic interpretation of terminological strings // 2002.
7. Berkhin P. Survey Of Clustering Data Mining Techniques // *Surv. Clust. Data Min. Tech. Group. Multidimens. Data Recent Adv. Clust.* 2002. T. 10.
8. 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 C. 886–887.
9. Dhillon I. S., Mallela S., Kumar R. A Divisive Information-Theoretic Feature Clustering Algorithm for Text Classification // *J Mach Learn Res.* 2003.

10. Lomov P. Ontology of integrated knowledge space [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space/blob/master/src/poltes.owl>.

References

1. Studer R., Benjamins V.R., Fensel D. Knowledge engineering: principles and methods. *Data Knowl. Eng.*, 1998 Vol. 25, pp. 161–197.
2. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowl. Acquis.* 1993, Vol. 5, No 2, pp. 199–220.
3. Somodevilla M., Ayala D., Pineda I. An overview on ontology learning tasks. *Comput. Sist.* 2018, Vol. 22.
4. Chen J. et al. Smart data integration by goal driven ontology learning, 2017, pp. 283–292.
5. Hwang C. Incompletely and Imprecisely Speaking: Using Dynamic Ontologies for Representing and Retrieving Information. 1999.
6. Navigli R., Velardi P. Semantic interpretation of terminological strings. 2002.
7. Berkhin P. Survey Of Clustering Data Mining Techniques. *Surv. Clust. Data Min. Tech. Group. Multidimens. Data Recent Adv. Clust.* 2002, Vol. 10.
8. Zepeda-Mendoza M. L., Resendis-Antonio O. Hierarchical Agglomerative Clustering. *Encyclopedia of Systems Biology*. New York, NY: Springer, 2013 pp. 886–887.
9. Dhillon I. S., Mallela S., Kumar R. A Divisive Information-Theoretic Feature Clustering Algorithm for Text Classification. *J Mach Learn Res.* 2003.
10. Lomov P. Ontology of integrated knowledge space. Available at: <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space/blob/master/src/poltes.owl>.

Сведения об авторах

П. А. Ломов — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;
М. Л. Малоземова — инженер-исследователь ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

P. A. Lomov — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;
M. L. Malozemova — research engineer of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 171–176.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 171–176.

Тезисы

УДК 004.9

DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.017

АНАЛИЗ ПАРАДОКСОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ СИСТЕМ

Борис Александрович Кулик¹, Александр Яковлевич Фридман²

¹ *Институт проблем машиностроения РАН, Санкт-Петербург*

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

¹ *ba-kulik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6193-5588>*

² *fridman@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>*

Аннотация

Под парадоксом понимается рассуждение (база знаний), из которого(ой) следует несовместимость свойств некоторых участвующих в нем(ней) объектов. Рассматриваются и иллюстрируются примерами основанные на E-структурах и алгебре кортежей методы анализа и элиминации парадоксов в интеллектуальных системах.

Ключевые слова:

E-структура, алгебра кортежей, элиминация парадокса

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 19-08-00079-а.

Для цитирования: Кулик Б. А., Фридман А. Я. Анализ парадоксов в интеллектуальных моделях систем // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 171–176. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.017>.

Theses

ANALYSIS OF PARADOXES IN INTELLIGENT MODELS OF SYSTEMS

Boris A. Kulik¹, Alexander Ya. Fridman²

¹ *Institute of Problems in Mechanical Engineering RAS, Saint Petersburg*

² *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *ba-kulik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6193-5588>*

² *fridman@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>*

Abstract

A paradox is understood as reasoning (knowledge base), from which follows the incompatibility of properties for some objects participating in it. Some methods to analyze and eliminate such paradoxes in intelligent systems based on E-structures and n-tuple algebra are considered and illustrated by examples.

Keywords:

E-structure, n-tuple algebra, elimination of paradoxes

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036. The study was partially supported by RFBR, project number 19-08-00079-a.

For citation: Kulik B. A., Fridman A. Ya. Analysis of paradoxes in intelligent models of systems // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 171–176. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.017>.

Введение

Поясним, что рассматривается как парадокс в настоящей работе и сформулируем его основное отличие от противоречия в математической логике. Принято считать, что парадокс – это ситуация, когда два взаимоисключающих высказывания оказываются доказуемыми. Но с точки зрения формальной логики это противоречие, в таком случае формула, с помощью которой написана модель парадокса, оказывается тождественно ложной. Например, противоречивы два высказывания «Всем A присуще свойство B » и «Некоторым A не присуще свойство B ». В то же время, если второе высказывание заменить на «Всем A не присуще свойство B », то полученная пара высказываний не будет противоречивой, а данная система высказываний лишь свидетельствует о том, что объект A – ложный или вообще не существует. Именно к такой форме приводятся при логическом анализе многие парадоксы теории множеств. В качестве примера рассмотрим парадокс «Мэр города», который заключается в следующем: в одной провинции был издан указ о том, что мэр каждого города не должен жить в своем городе, а только в городе N . Спрашивается, где должен жить мэр города N ? Ответ очевидный: он не может жить ни в городе N , ни вне его. Если записать логическую формулу этого парадокса, то окажется, что пропозициональная переменная «мэр города N » является безусловно ложной.

Вполне понятно, что несчастный мэр стал жертвой противоречивого указа. В то же время в аналогичных парадоксах теории множеств нередко всю вину за противоречивые свойства некоторых множеств приписывают самой теории множеств, но не противоречиям в определениях. Например, если вопреки принятой в литературе по математической логике традиции [1] предположить, что «элемент» по определению не может быть «множеством», то о парадоксах теории множеств останутся лишь воспоминания.

Оказывается, во многих случаях парадоксы можно свести к формальному противоречию. Рассмотрим *парадокс подмены* [2], который часто встречается в рассуждениях по аналогии и в моделях рассуждений по прецеденту. Пусть имеется некоторый исходный объект O и его аналог A , при этом множество P_C свойств у этих объектов совпадает. Известно также, что объекту O присущи свойства P_O , а объекту A – свойства P_A , при этом данные свойства несовместимы, что можно выразить с помощью формулы $P_A \supset \neg P_O$. Тогда логическую модель подмены можно представить формулой:

$$(A \supset P_C) \wedge (O \supset P_C) \wedge (A \supset P_A) \wedge (O \supset P_O) \wedge (P_A \supset \neg P_O) \wedge (A \supset O). \quad (1)$$

В этой формуле подформула $A \supset O$ выражает процедуру отождествления исходного объекта с аналогом. Следствием данной формулы является коллизия парадокса $A \supset \neg A$ и безусловная ложность аналога A . Если в формулу (1) добавить еще одну посылку A , то полученная формула окажется тождественно ложной, т.е. противоречием. Можно сказать, что парадокс – это рассуждение, результат которого состоит в несовместимости итога логического анализа с неявно принятым допущением (например, предполагается, что A истинно). Если в это рассуждение добавить в качестве посылки неявно принятое допущение, то получим противоречивую формулу.

Виды парадоксов

Были выделены следующие разновидности парадоксов.

1. *Коллизия парадокса в E-структурах* [2]. С помощью E-структур моделируется вывод заключений и анализ корректности совокупностей посылок в полисиллогизмах. Эта коллизия распознается как вывод следствия типа $A \subseteq \bar{A}$.

2. *Аномалия противоречия*. Под этим здесь понимается не только одноименная некорректность в базах знаний [3], но и формально схожая с ней логическая модель пресуппозиции [4].

В базах знаний (БЗ) правила можно выразить как структуры типа

$$r_m: B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_n \rightarrow A,$$

где r_m – имя правила, а B_1, B_2, \dots, B_n, A – атомы.

Каждое правило задано в определенной схеме отношения, а каждая схема отношения характеризуется множеством имен атрибутов. Для правила r_m обозначим $Ant(r_m)$ схему отношения его антецедента, $Cons(r_m)$ – схему отношения его консеквента, а $Val(X_i, r_m)$ – значение атрибута X_i в правиле r_m . Например, атом B_i , относящийся к атрибуту X_i , выражается частью фразы

«Если $X_1 = \dots$ и $X_i = a$ или $X_i = b$ и $X_{i+1} = \dots$ и $X_n = \dots$, то...».

Тогда $Val(X_i, r_m) = \{a, b\}$. Аналогично, консеквент каждого правила можно отобразить как множество значений для определенного атрибута.

Рассмотрим, как распознается аномалия противоречия. Пусть имеются два правила:

$$r_D: B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_n \rightarrow D;$$

$$r_F: B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_n \rightarrow F.$$

При этом $D \cap F = \emptyset$. Тогда правила r_D и r_F инициируют аномалию противоречия.

Один из примеров аномалии противоречия – случай в медицинской диагностике, когда принципиально разные заболевания характеризуются одинаковыми значениями некоторых симптомов и при этом не задан хотя бы один симптом, значения которого существенно различны для этих заболеваний.

Похожая ситуация была определена также при анализе пресуппозиции [4]. Понятие пресуппозиции (английское *presupposition* – предположение) часто встречается в научной литературе по логике и философии [5, 6], лингвистике [7], в искусственном интеллекте [8] и т.д.

Пресуппозиция – это утверждение, которое подразумевается (или воспринимается как истинное) при актуализации основного утверждения или вопроса, при этом отрицание (или ложность) основного утверждения не нарушает истинности пресуппозиции. Еще одна особенность пресуппозиции заключается в том, что предположение о ее ложности или несостоятельности влечет потерю смысла основного утверждения.

Например, в предложении *Павел опоздал в институт* подразумевается, что *Павел направлялся в институт*, – это и есть пресуппозиция. Ясно, что отрицание основного утверждения (**ассерции**) (*Павел пришел в институт вовремя*) не влияет на истинность пресуппозиции. Если предположить, что пресуппозиция ложна, то становится ясным, что опоздание или своевременный приход в данной ситуации не имеют смысла.

В литературе по логике и лингвистике логическая модель пресуппозиции в терминах исчисления высказываний выражается формулой

$$(S \supset P) \wedge (\neg S \supset P), \quad (2)$$

где S – ассерция, а P – пресуппозиция. В таком случае формула (2) тождественно равна P , а это означает, что ассерция в этой модели есть фиктивная переменная. Если же в соответствии с семантикой пресуппозиции (по смыслу это предпосылка) задать ее логическую модель формулой $(P \supset S) \wedge (P \supset \neg S)$, то окажется, что P – ложна, т.е. получим парадокс.

3. *Парадоксальные значения атрибутов в следствии.* Данный парадокс распознается следующим образом. Пусть даны посылки, представленные АК-объектами [2] A_1, \dots, A_n , и получено минимальное следствие [2] $A = A_1 \cap_G \dots \cap_G A_n$. Предполагается, что определенные значения некоторых атрибутов обязательно должны присутствовать в минимальном следствии, в противном случае заданная модель рассуждения считается некорректной. Например, в рассуждении речь идет об объекте A_i , для которого отсутствие значений a или b в следствии означает невозможность его существования в данной системе.

Методы элиминации парадоксов

1. *Элиминация коллизии парадокса в E-структурах.* В [9] был предложен следующий метод элиминации: 1) выбирается сомнительная посылка (например, $D \rightarrow E$). Если обращение этой посылки ($E \rightarrow D$) допустимо, то она заменяет исходную посылку. Тогда коллизия парадокса не проявляется. В случаях, когда обращение посылки недопустимо, предлагается следующий вариант корректировки сомнительной посылки: вместо нее ($D \rightarrow E$ или Все D есть E) добавляется другое утверждение $\alpha \rightarrow (D, E)$ (Некоторые D есть E). Доказано, что такая замена тоже приводит к элиминации парадокса.

2. *Элиминация аномалии противоречия за счет ввода нового параметра.* В [4] показано, что парадокс пресуппозиции можно элиминировать, если найти параметр, названный *переключателем ассерции*. Например, в случае с опоздавшим в институт Павлом таким параметром может стать причина опоздания (или ее отсутствие в случае своевременного прихода). Ввод этого параметра в модель в виде новой логической или пропозициональной переменной приводит к элиминации парадокса. В аномалиях противоречия баз знаний элиминацию можно выполнить путем поиска различающего параметра.

3. Для элиминации парадокса в случае *парадоксальных значений атрибутов в следствии* предлагается следующий метод расширения объема посылок. Пусть в минимальном следствии $A = A_1 \cap_G \dots \cap_G A_n$ в атрибуте X_k отсутствует значение b , что свидетельствует о парадоксальности системы. Система посылок задана в схеме отношения $[X_1 \dots X_k \dots X_m]$. В этой схеме отношения сформируем S -кортеж $P_k = [* \dots \{b\} \dots *]$ и вычислим его обобщенное пересечение с каждой посылкой A_i . Полученное множество АК-объектов $T_i = P_k \cap_G A_i$ целесообразно использовать для анализа корректности посылок и элиминации парадокса.

Отсутствие значения b атрибута X_k в минимальном следствии равносильно тому, что пересечение всех АК-объектов T_i равно пустому множеству. Чтобы этого избежать, необходимо проанализировать некоторые (поддающиеся изменению с точки зрения семантического анализа) посылки A_i на предмет возможности расширения объема соответствующих T_i . Такое расширение выполнимо за счет расширения объема значений некоторых атрибутов.

Список литературы

1. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. М.: Наука, 1971.
2. Кулик Б.А. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа / под общ. ред. А. Я. Фридмана. СПб.: Политехника, 2020.
3. Harmelen F. Applying rule-base anomalies to KADS inference structures // Decision Support Systems. 1997. V. 21, № 4.
4. Kulik B., Fridman A. Roles contradictions play in logical models of metaphors and presuppositions (2018) CEUR Workshop Proceedings, vol. 2303.
5. Strawson P. Introduction to Logical Theory. London. 1952.
6. Beaver D. Presupposition and Assertion in Dynamic Semantics. Stanford: CSLI Publications. 2001.
7. Karttunen L., Peters S. Requiem for Presupposition // Proceedings of the Third Annual Meeting of Berkeley Linguistic Society. Berkeley, 1977.
8. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. М.: Наука. 1982.
9. Кулик Б.А. Логика естественных рассуждений. СПб: Невский диалект. 2001.

References

1. Mendelssohn E. Vvedeniye v matematicheskuyu logiku [Introduction to mathematical logic]. M.: Nauka, [M.: Science], 1971. (In Russ.)
2. Kulik B.A. Logika i matematika: prosto o slozhnykh metodakh logicheskogo analiza [Logic and mathematics: just about complex methods of logical analysis] / pod obshch. red. A. YA. Fridmana [ed. A. Ya. Fridman, SPb.: Polytechnic], 2020. (In Russ.)
3. Harmelen F. Applying rule-base anomalies to KADS inference structures // Decision Support Systems. 1997. V. 21, No. 4.
4. Kulik B., Fridman A. Roles contradictions play in logical models of metaphors and presuppositions (2018) CEUR Workshop Proceedings, vol. 2303.
5. Strawson P. Introduction to Logical Theory. London. 1952.
6. Beaver D. Presupposition and Assertion in Dynamic Semantics. Stanford: CSLI Publications. 2001.
7. Karttunen L., Peters S. Requiem for Presupposition // Proceedings of the Third Annual Meeting of the Berkeley Linguistic Society. Berkeley, 1977.
8. Popov E.V. Obshcheniye s EVM na yestestvennom yazyke [Communication with computers in natural language]. M.: Nauka [M.: Science]. 1982. (In Russ.)
9. Kulik B.A. Logika yestestvennykh rassuzhdeniy [The logic of natural reasoning]. SPb: Nevskiy dialekt [SPb: Nevsky dialect]. 2001. (In Russ.)

Сведения об авторах

Б. А. Кулик – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИПМаш РАН;

А. Я. Фридман – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

B. A. Kulik – Dr. of Phys.-Math. Sc., leading research fellow of the Institute of Problems in Mechanical Engineering of RAS;

A. Ya. Fridman – Dr. of Tech. Sc., professor, Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.
The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 177–182.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 177–182.

Тезисы
УДК 004.9
DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.018

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

Александр Яковлевич Фридман[✉]

*Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН,
Апатиты, Россия*
fridman@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Аннотация

Кратко представлен и проанализирован взаимосвязанный набор методов синтеза, статического и динамического сопоставления различных допустимых сценариев развития промышленно-природной системы, позволяющий решать различные вопросы проектирования, стратегического и оперативного управления подобными системами с учетом аспектов безопасности, а также координировать взаимодействия нескольких ЛПП в рамках одной системы.

Ключевые слова:

Промышленно-природная система, структурный синтез, планирование и координация, стратегическое и оперативное управление

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения гос. задания по теме НИР № 0226-2019-0036. Работа частично поддержана грантом РФФИ №18-29-03022-мк.

Для цитирования: Фридман А. Я. Моделирование сценариев развития промышленно-природных систем // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 177–182. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.018>.

Theses

MODELING OF DEVELOPMENT SCENARIOS FOR INDUSTRIAL-NATURAL SYSTEMS

Alexander Ya. Fridman[✉]

Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia
fridman@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Abstract

An interrelated set of methods for synthesis, static and dynamic comparison of various admissible scenarios for development of industrial-natural systems is briefly introduced and analyzed. These methods make it possible to solve various issues of design, strategic and operational management of such systems including emergencies, as well as to coordinate interactions of several decision makers involved within one system.

Keywords:

industrial-natural system, structural synthesis, planning and coordination, strategic and operational management

Funding

The article was supported by the federal budget to carry out the state task of the FRC KSC RAS No. 0226-2019-0036. The study was partially supported by RFBR, project number 18-29-03022-mk.

For citation: Fridman A. Ya. Modeling of development scenarios for industrial-natural systems // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 177–182. <http://dx/doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.018>.

В настоящей публикации суммируются результаты и подводятся итоги разработки ситуационного подхода к моделированию сложных динамических пространственно-распределенных комплексов, включающих как естественные, так и технические объекты, и поэтому названных автором промышленно-природными комплексами (ППК) [1]. Для превращения подобных комплексов в систему согласно требованиям системного подхода [2] было необходимо предложить способы управления их функционированием. Представляется естественным рассматривать природные компоненты ППК как неуправляемые подсистемы, приемлемое существование которых формирует ограничения на допустимые режимы использования технических подсистем ППК и определяет возможность тех или иных управляющих воздействий на последние, что формализуется либо заданием максимальных уровней входных возмущающих воздействий, например, путем введения ПДК (предельно допустимых концентраций) тех или иных веществ, либо оценкой степени деградации каких-либо интегральных выходных характеристик таких объектов.

Поскольку аналитические методы синтеза управлений пригодны только для простых систем, в качестве основного инструмента исследования ППК рассматривалось имитационное моделирование [3]. Соответственно, модель ППК должна быть изоморфна реальному объекту исследования, а модели подсистем могут строиться на самых различных принципах (аналитические, имитационные модели, различные сети, наборы продукционных правил и т.п.) с единственным ограничением: для каждой такой подмодели должно быть задано пространство состояний [4], в котором поведение подмодели определяется некоторым разностным уравнением. В результате моделирование ППК осуществляется в обобщенном концептуальном пространстве [5] состояний, что дало возможность использовать основные принципы ситуационного управления [6] и конкретизировать их для задачи управления ППК. С точки зрения общей теории систем [1] ППК рассматриваются нами как неупреждаемые причинные временные системы в дискретном времени.

Ввиду сложности рассматриваемых объектов, управляющие воздействия на них рассматриваются только на уровне изменения структурных связей между подсистемами, задачи более детального параметрического синтеза характеристик передаются разработчикам технических подсистем. Еще одна особенность развиваемого подхода к исследованию ППК состоит в том, что модель опасных ситуаций строится как расширение модели нормального функционирования ППК на области пространства состояний, выходящие за диапазоны допустимых состояний компонентов ППК. Это дает возможность выявлять причины и анализировать последствия сложных (множественных, зависимых) [7] отказов и иницирующих событий, приводящих к наиболее значительному ущербу.

На первом этапе разработки ППК рассматривались как иерархические системы, но при увеличении масштабов комплекса выявилась необходимость организации взаимодействия нескольких ЛПР, которым подведомственны составные части одного ППК, а также перехода от модели иерархии к модели сетцентрической системы [8].

Для предлагаемого подхода принципиально важна возможность интегрирования в единую среду моделей компонентов объекта, построенных разными группами исследователей независимо друг от друга и имеющих различные динамические параметры (шаг дискретности, порядок модели и т.д.), а возможно, и различные принципы внутренней организации (например, чисто логические, автоматные и аналитические модели). Необходимость такой интеграции разных форм представления знаний в «слабо изученных» предметных областях отмечается рядом авторов, например, в работе [3] говорится: «Проблема не в том, чтобы заново создавать модели и методы решения, а в том, чтобы объединить разнородные по природе и форме информации модели в единую систему». В рассматриваемой области указанный подход обеспечивает еще и возможность реализации стратегии ускорения внедрения программных продуктов путем разработки «быстрых прототипов», ставшей уже стандартной для прикладных систем искусственного интеллекта, (например, [9]): при отсутствии или неполной готовности модели того или иного компонента объекта исследования эта модель может быть заменена набором экспертных правил, чтобы не тормозить сопровождение всей системы.

Анализ предметной области моделирования сложных промышленно-природных комплексов и существующих компьютеризованных методов, пригодных для использования в этой области, позволил сформулировать основную проблему исследования ППК как задачу интеграции в единую систему моделей, различных по структуре и используемым методологиям, и разработать следующие базовые требования к информационно-аналитической системе анализа и прогноза состояния ППК:

- поддержка открытой иерархической модели предметной области;
- всесторонняя автоматическая проверка логической корректности модели путем типизации ее компонентов;
- возможность работы с временными рядами;
- наличие средств анализа пространственно-зависимых данных;
- поддержка исследования различных возможных ситуаций и сценариев развития объекта, включая опасные и критические;
- автоматическая генерация структур данных для проведения и представления результатов моделирования;
- автоматический синтез процедурных спецификаций на выполнение конкретного варианта расчетов;
- автоматический синтез исполнительной среды моделирования;
- автоматизированный синтез проблемно-ориентированных прикладных систем, компетентных на некоторой подмодели предметной области;
- обеспечение равноправной обработки информации от расчетных (вычислительных) модулей, знаний экспертов, графических характеристик элементов ППК;
- решение задач координации взаимодействий нескольких ЛПР, участвующих в работе одного ППК, с учетом их ситуационной осведомленности;
- оперативное переназначение ЛПР и определение их зон ответственности при рассмотрении ППК как сетецентрической системы.

Все перечисленные возможности реализованы в разработанной системе ситуационного моделирования ППК, представленной в работах [1, 8, 11-14 и др.].

Список литературы

1. Фридман А.Я. Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2015.
2. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978.
3. Перовская Е.И. Имитационные модели для поддержки принятия решений // Мост (ежемесячный информационно-аналитический журнал для промышленников), СПб, 1999, № 6.
4. Деруссо П., Рой Р., Клоуз М. Пространство состояний в теории управления. М.: Наука, 1970.
5. Gärdenfors P. Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. MIT Press. 2014.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
7. Александровская Л.Н. и др. Статистические методы оценки безопасности сложных технических систем. М.: Логос, 2001.
8. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Возможности управления сетцентрическими системами на основе знаковых формализмов // Труды КНЦ РАН, серия «Информационные технологии», вып. 11, 2020. С. 161–165.
9. Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990.
10. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cogn. Engineering and Decision Making. 2015. vol. 9. No. 1. Pp. 101-111.
11. Фридман А.Я., Олейник А.Г. Методы и средства поддержки принятия решений по обеспечению устойчивого функционирования промышленно-природных комплексов в арктической зоне РФ. М.: История науки и техники, ООО Издательство «Научтехлитиздат», № 3. 2019, с. 26-34.
12. Фридман А.Я., Кулик Б.А. Когнитивная категоризация в многокритериальных задачах ситуационного управления. Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3-7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах. Т. 2. С. 225-234.
13. 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.
14. 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.

References

1. Fridman A.Ya. SituatSIONnoye upravleniye strukturoy promyshlennenno-prirodnykh sistem. Metody i modeli [Situational control of the structure of industrial-natural systems. Methods and Models]. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2015. (In Russ.)

2. Mesarovich M., Takahara J. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskiye osnovy [General theory of systems: mathematical foundations]. M.: Mir [Moscow: Mir], 1978. (In Russ.)
3. Perovskaya E.I. Imitatsionnyye modeli dlya podderzhki prinyatiya resheniy [Simulation models for decision support] // Most (yezhemesyachnyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal dlya promyshlennikov), SPb [Most (monthly information and analytical magazine for industrialists), St. Petersburg], 1999, No. 6. (In Russ.)
4. Derusso P., Roy R., Close M. Prostranstvo sostoyaniy v teorii upravleniya [State space in control theory]. M.: Nauka [Moscow: Nauka], 1970. (In Russ.)
5. Gärdenfors P. Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. MIT Press. 2014.
6. Pospelov D.A. Situatsionnoe upravleniye: teoriya i praktika [Situational control: theory and practice]. M.: Nauka [Moscow: Nauka], 1986. (In Russ.)
7. Alexandrovskaya L.N. et al. Statisticheskiye metody otsenki bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Statistical methods for assessing the safety of complex technical systems. M.: Logos, 2001. (In Russ.)
8. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Vozmozhnosti upravleniya setetsentricheskimi sistemami na osnove znakovykh formalizmov [Possibilities of managing network-centric systems based on sign formalisms] // Trudy KNTS RAN, seriya «Informatsionnyye tekhnologii» [Proceedings of the KSC RAS, "Information Technologies" series], vol. 11, 2020, pp. 161–165. (In Russ.)
9. Iskusstvennyy intellekt. V 3-kh kn. Kn. 2. Modeli i metody: Spravochnik / Pod red. D.A. Pospelova [Artificial intelligence. In 3 books. Book. 2. Models and methods: Handbook] / Ed. D.A. Pospelov. M.: Radio i svyaz' [M.: Radio and communication], 1990. (In Russ.)
10. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cogn. Engineering and Decision Making. 2015. vol. 9.No. 1. Pp. 101-111.
11. Fridman A.Ya., Oleinik A.G. Metody i sredstva podderzhki prinyatiya resheniy po obespecheniyu ustoychivogo funktsionirovaniya promyshlenno-prirodnykh kompleksov v arkticheskoy zone RF [Methods and means of decision-making support to ensure the sustainable functioning of industrial and natural complexes in the Arctic zone of the Russian Federation. M.: Istoriya nauki i tekhniki, OOO Izdatel'stvo «Nauchtekhlitizdat» [Moscow: History of Science and Technology, Nauchtekhlitizdat Publishing House], No. 3. 2019, p. 26-34. (In Russ.)
12. Fridman A.Ya., Kulik B.A. Kognitivnaya kategorizatsiya v mnogokriterial'nykh zadachakh situatsionnogo upravleniya [Cognitive categorization in multicriteria problems of situational management] // Pyatnadtsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2016 (3-7 oktyabrya 2016 g., g. Smolensk, Rossiya). Trudy konferentsii. V 3-kh tomakh [Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2016 (October 3-7, 2016, Smolensk, Russia). Conference proceedings. In 3 volumes]. Vol. 2. S. 225-234. (In Russ.)
13. Fridman A.Ya. Koordinatsiya i planirovaniye upravleniy v lokal'no organizovannykh iyerarkhicheskikh sistemakh [Coordination and planning of management in locally organized hierarchical systems] // Shestaya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii» SAIT-2015 (15-20 iyunya 2015 g., g. Svetlogorsk, Rossiya): Trudy

konferentsii. V 2-kh t. [Sixth International Conference "System Analysis and Information Technologies" SAIT-2015 (June 15-20, 2015, Svetlogorsk, Russia): Proceedings of the conference. In 2 volumes]. Vol. 1. M.: ISA RAN. S. 115-124. (In Russ.)

14. Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. Formal'naya kontseptual'naya model' promyshlenno-prirodnogo kompleksa kak sredstvo upravleniya vych. eksperimentom [Formal conceptual model of an industrial-natural complex as a means of controlling computing experiments // Trudy SPIIRAN [Proceedings of SPIIRAS], 2014. No. 6 (37). S. 424-453. (In Russ.)

Сведения об авторе

А. Я. Фридман — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the author

A. Ya. Fridman — Dr. of Tech. Sc., professor, Leading Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 183–186.
Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 183–186.

Тезисы

УДК 004.94

DOI: 10.37614/2307-5252.2021.5.12.019

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА РИСКОВ ДЛЯ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А.В. Шестаков¹, А.С. Шемякин², С.Ю. Яковлев³

^{1, 2, 3} *Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

¹ *shestakov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>*

² *shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

³ *yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

Аннотация

Неотъемлемой частью любого производства является обеспечение промышленной и природной безопасности. Одним из потенциальных решений задач подобного рода можно считать моделирование и визуализацию аварийных ситуаций, а также их анализ. Авторами статьи предлагается использовать технологии геоинформационных систем с целью проведения первичной оценки рисков, посредством моделирования распространения взрывной ударной волны при чрезвычайных ситуациях связанных с разрывом сосудов, находящихся под высоким давлением.

Ключевые слова:

ГИС, QGIS, промышленная безопасность, расчёты риска

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема НИР № 0226-2019-0035).

Для цитирования: Шестаков А. В., Шемякин А. С., Яковлев С. Ю. Информационная технология анализа рисков для сосудов под давлением // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 12. 2021. Т. 12, № 5. С. 183–186. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.019>.

Theses

INFORMATION TECHNOLOGY FOR RISK ANALYSIS OF PRESSURE VESSELS

A. V. Shestakov¹, A. S. Shemyakin², S. Yu. Yakovlev³

^{1, 2, 3} *Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹ *shestakov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>*

² *shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

³ *yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

Abstract

An integral part of any production is to ensure industrial and natural safety. One of the potential solutions to such problems can be considered as modeling and visualization of emergency situations, as well as their analysis. The authors of the article propose to use geographic information system technologies in order to conduct primary risk assessment by simulating the propagation of an explosive shock wave in emergencies associated with the rupture of vessels under high pressure.

Keywords:

GIS, QGIS, industrial safety, risk calculations

Funding

The research is carried out within the frames of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of RF (Research theme N 0226-2019-0035).

For citation: Shestakov A. V., Shemyakin A. S., Yakovlev S. Yu. Information technology for risk analysis of pressure vessels // Transactions of the Kola Science Centre. Information technologies. Series 12. 2021. Vol. 12, no. 5. P. 183–186. <http://dx.doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.019>.

Введение

На сегодняшний день, серьёзной проблемой в мире является обеспечение промышленной и природной безопасности. Повышение актуальности этой проблемы вызвано увеличением числа производственных комплексов. Одни из главных источников опасности, связанные с промышленностью – это сосуды, находящиеся под высоким давлением.

Для анализа и предотвращения возникновения опасных ситуаций широко используются информационные технологии. Визуализация и воспроизведение обстановки чрезвычайной ситуации помогает дать оценку возможным последствиям аварии и, следовательно, данные для её предупреждения. Мощным инструментом для моделирования таких ситуаций служат геоинформационные системы.

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 геоинформационной системе Quantum GIS расширения, включающие в себя плагины и модули, являют собой мощный программный инструмент, который динамично развивается и позволяет подстроить среду под выполнение задач разного характера, связанных с картографическими данными. То, что QGIS относится к свободным кроссплатформенным геоинформационным системам, даёт возможность разрабатывать и добавлять плагины любому пользователю.

1. Методология расчётов параметров для анализа рисков

Разрабатываемый модуль расширения для геоинформационной системы Quantum GIS построен на основе методики руководства по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия РБ Г-05-039-96. Функциональная часть плагина служит для расчёта и оценки параметров взрывной ударной волны разрушения сосудов со сжатыми или сжиженными газами, (воздух, азот и т.п.), находящимися под высоким давлением, а также случая дефлаграционного взрыва газо- или паровоздушных смесей в емкостях, не рассчитанных на повышенное внутреннее давление (например, емкости для хранения бензина, мазута и т.п.), а также отображения зон поражения взрывной ударной волной.

2. Используемые программные средства для проведения расчётов

Разработка модуля расширения велась на языке программирования Python с использованием фреймворка Qt, а также следующих плагинов QGIS: Plugin Builder и Plugin Reloader.

В Plugin Builder задаётся наиболее подходящий рабочий шаблон, из которого строится каркас из исполняемых файлов для дальнейшей разработки плагина.

В нём задаются основные положения (название плагина, название модуля, имя класса, тип плагина и т.д.) для упрощения ведения последующей работы над плагином. После заполнения данных, Plugin Builder в автоматическом режиме сформирует исполняемые файлы и соберёт их в один проект.

Plugin Reloader ещё один вспомогательный модуль, делающий разработку удобнее. Его использование позволяет изменять программный и отображать его в QGIS без перезагрузки ГИС.

Для формирования графического интерфейса плагина использовался Qt Designer, предназначенный для проектирования и создания графических пользовательских интерфейсов (GUI) из компонентов Qt. Позволяет интегрировать виджеты и формы с управляющим кодом.

Для работы с векторными слоями и взаимодействием с картами QGIS используется QgsVectorLayer, с помощью него происходит управление наборами данных на основе векторов. Методом getFeature из класса QgsVectorLayer запрашиваются слои, с которыми будет вестись работы и на которые наносятся зоны поражения addFeatures.

Далее для работы с координатами и формирования зон поражения используются классы QgsPoint и QgsPointXY. После этого с помощью addMapLayer добавляем слой с зонами.

3. Проведение расчётов с использованием разрабатываемого модуля расширения

В качестве основы для расчёта зоны поражения для амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ был использован график из [3].

При анализе графика зависимости величина давления на фронте ВУВ, генерированной разрывом сосуда с газом, находящимся под давлением, от безразмерного состояния, были получены формулы функций гиперболических регрессий для ситуаций в случае давления в сосуде перед взрывом в 2; 3,5; 4,5; 5; 8; 10; 15 (кгс/см).

Результат выполнения программы отображается на карте в виде зон поражения, соответствующих классификации приведённой в [2], а также [3] и расстоянию до них от эпицентра.

Разработанный модуль расширения, позволяет произвести первичную оценку рисков для сосудов под давлением в случае аварийной ситуации и оценить возможные разрушающие последствия.

Список литературы

1. Яковлев С.Ю., Шемякин А.С., Шестаков А.В. Информационная технология учёта рельефа прилегающей местности при решении задач оценки промышленно-природных опасностей и рисков // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. 2020. № 8 (11). С.202-204.
2. Козлитин А.М. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли

- // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. 2005. С.16-44.
3. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. 1996. РБ Г-05-039-96.

References

1. Yakovlev S.Yu., Shemyakin A.S., Shestakov A.V. Informacionnaya tekhnologiya uchyota rel'efa prilgayushchej mestnosti pri reshenii zadach ocenki promyshlennoprirodnyh opasnostej i riskov [Information technology for accounting nearby area relief when solving tasks of assessing industrial and natural hazards and risks]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Informacionnye tekhnologii* [Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies], 2020, No.8 (11), pp. 202-204. (In Russ.).
2. Kozlitsin A.M. Veroyatnostnyye metody analiza posledstvij fugasnogo vozdejstviya vzryva na cheloveka, tekhnologicheskoe oborudovanie, zdaniya, sooruzheniya pri avariynyh situacijah na predpriyatiyah neftegazovoj otrasli [Probabilistic methods for analyzing the consequences of the blast impact on people, process equipment, buildings, structures in emergency situations at oil and gas enterprises]. *Upravlenie promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnost'yu proizvodstvennyh ob"ektov na osnove riska* [Risk-based management of industrial and environmental safety of production facilities], 2005, pp.16-44. (In Russ.).
3. Rukovodstvo po analizu opasnosti avariynyh vzryvov i opredeleniyu parametrov ih mekhanicheskogo dejstviya [Guidelines for the analysis of accidental explosion hazards and the determination of their mechanical action parameters]. 1996. Safety Guidelines G-05-039-96.

Сведения об авторах

А. В. Шестаков — стажер-исследователь ИИММ КНЦ РАН;

А. С. Шемякин — младший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН;

С. Ю. Яковлев — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

Information about the authors

A. V. Shestakov — intern researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

A. S. Shemyakin — Junior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences;

S. Yu. Yakovlev — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 08.12.2021.

The article was submitted 15.11.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 08.12.2021.

