

Российская ассоциация искусственного интеллекта  
Российская ассоциация нечетких систем и мягких вычислений  
Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

# **Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения**

## **Fuzzy Technologies in the Industry (FTI–2017)**

Первая Всероссийская научно-практическая конференция

(Россия, г. Ульяновск 14-15 ноября, 2017)

Сборник научных трудов

Ульяновск  
УлГТУ  
2017

УДК 004.62 (082)  
ББК 32.973.202я43  
Н 59

Редакционная коллегия: Н.Г. Ярушкина (ответственная за выпуск),  
В.С. Мошкин, И.А. Тимина

УДК 004.62 (082)

**Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения. Fuzzy Technologies in the Industry (FTI-2017):** Первая Всероссийская научно-практическая конференция (Россия, г. Ульяновск, 14-15 ноября, 2017 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 406 с.

В сборнике опубликованы доклады участников Первой Всероссийской научно-практической конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения (FTI -2017)».

Материалы сборника предназначены исследователям в области искусственного интеллекта, магистрантам и аспирантам информационно-технических специальностей вузов.

Сборник состоит из 4 секций: 1. Нечеткие системы в промышленности; 2. Нечеткие модели и мягкие вычисления; 3. Системы поддержки принятия решений и управление знаниями; 4. Интеллектуальный анализ данных.

Конференция проведена в соответствии с научным проектом 2.1182.2017/4.6 «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы», выполняемым научным коллективом Ульяновского государственного технического университета в рамках государственного задания Минобрнауки РФ.

Статьи печатаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-9795-1721-6

© Коллектив авторов, 2017

© Оформление. УлГТУ, 2017

## **Организационный комитет FTI-2017**

*Председатель:*

Ярушкина Н.Г., д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск

*Члены организационного комитета:*

Мошкин В.С., к.т.н., ведущий разработчик, УлГТУ, г. Ульяновск

Тимина И.А., к.т.н., УлГТУ, г. Ульяновск

Филиппов А.А., к.т.н., УлГТУ, г. Ульяновск

Гуськов Г.Ю., м.н.с.,

Романов А.А., к.т.н., ведущий разработчик, ООО «SimbirSoft»,

Эгов Е.Н., разработчик, ООО «SimbirSoft»

## **Программный комитет FTI-2017**

Председатель — Ярушкина Н.Г., д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск;

Карпов В.Э., к.т.н., доцент, НИЦ Курчатовский институт, г. Москва;

Тарасов В.Б., к.т.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Тулупьев А.Л., д.ф.-м.н., профессор, СПИИРАН, г. Санкт-Петербург;

Аверкин А.Н., к.т.н., доцент, ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва;

Соснин П.И., д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск;

Афанасьева Т.В., д.т.н., доцент, УлГТУ, г. Ульяновск;

Наместников А.М., к.т.н., доцент, УлГТУ, г. Ульяновск.

## **Первая Всероссийская научно-практическая конференция Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения–2017**

Первая Всероссийская научно-практическая мультikonференция «Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения–2017 (FTI -2017)» проведена на базе Ульяновского государственного технического университета при поддержке Российской ассоциации искусственного интеллекта, а также Российской ассоциации нечетких систем и мягких вычислений.

Научно-практическая конференция «Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения» была проведена в соответствии с научным проектом 2.1182.2017/4.6 «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы», выполняемый научным коллективом Ульяновского государственного технического университета в рамках государственного задания Минобрнауки РФ.

Конференция посвящена памяти выдающегося ученого XX и начала XXI столетий, отца нечеткой логики Лотфи Заде. Научные работы Лотфи Заде положили начало новым направлениям исследований в области математики, теории управления и ее приложений, в искусственном интеллекте, вычислительном интеллекте и мягких вычислениях. Лотфи Заде носил звание Почетного профессора Ульяновского государственного технического университета.

Проводимая в УлГТУ конференция по нечетким системам и мягким вычислениям традиционно привлекает широкий круг специалистов. В конференции приняли участие более 70 российских и зарубежных исследователей инженерных специальностей из Ульяновска, Москвы, Санкт-Петербурга, Астрахани, Барнаула, Белгорода, Братска, Великого Новгорода, Волгограда, Йошкар-Олы, Казани, Красноярска, Нижнего Новгорода, Новомосковска, Новосибирска, Севастополя, Смоленска, Сыктывкара, Твери, Улан-Удэ, Уфы, Челябинска, Юрги, а также зарубежные коллеги из Минска (Беларусь), Ташкента (Узбекистан).

На четырех секционных заседаниях было представлено более сорока научных докладов по следующим тематикам: «Нечеткие системы в промышленности», «Нечеткие модели и мягкие вычисления», «Системы поддержки принятия решений и управления знаниями», «Интеллектуальный анализ данных».

Организационный комитет благодарит авторов докладов, приславших свои работы на конференцию, а также ректорат Ульяновского государственного технического университета, обеспечивший проведение конференции и издание ее материалов.

Председатель  
организационного комитета конференции  
доктор технических наук, профессор



Н.Г. Ярушкина

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1. НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

<i>Маторин С.И., Михелёв В.В.</i> Применение аппарата нечетких систем для развития системно-объектного подхода .....	13
<i>Джамбеков А.М.</i> Алгоритм определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах процесса каталитического риформинга .....	21
<i>Саяпин А.В., Герасимова Д.С.</i> Анализ статистических характеристик интенсивности отказов авиационных узлов и агрегатов с использованием bootstrap-метода.....	26
<i>Zdaranok Y.A.</i> Linguistic and acoustic resources of the computer-based system for analysis and interpretation of speech intonation .....	32
<i>Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А.</i> Метод нечеткого управления техническим состоянием промышленного оборудования.....	41
<i>Ткаченко К.С.</i> Высоконагруженный узел распределенной среды под воздействием вредоносных событий .....	51
<i>Гольчевский Ю.В., Филимонова Н.А.</i> Особенности некоторых аспектов информационной безопасности и обнаружение вредоносной активности в «интернете вещей» .....	56
<i>Богатилов В.Н., Пророков А.Е., Санаева Г.Н., Санаева Н.А.</i> Применение метода кусочно-линейной аппроксимации при разработке модели процесса окислительного пиролиза для синтеза системы управления .....	67
<i>Бурдо Г.Б., Сорокин А.Ю., Исаев А.А., Стоянова О.В.</i> Модели управления качеством при создании наукоемких машиностроительных изделий .....	77
<i>Романов А.А.</i> Обзор методов оценки трудоемкости производства .....	84
<i>Похилько А.Ф., Цыганков Д.Э.</i> Повышение информативности 3D-модели на основе структурно-семантического представления .....	90

## СЕКЦИЯ 2. НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ И МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

<i>Ананьев В.В., Коновалов В.А., Петрова С.Ю.</i> Интерактивное детектирование целевых объектов в видеопотоке.....	97
<i>Никитин Н.А., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л.</i> Программная генерация звуков по цветовой гамме изображений с использованием рекуррентной нейронной сети.....	105
<i>Жуйков И.В., Нехаев И.Н.</i> Алгебраическая модель структуры усложнения заданий в интеллектуальной системе тестирования .....	115
<i>Алексеев Ф.Ф.</i> Нейрогенетические алгоритмы синтеза нечетких дискретных систем управления с применением метода векторных функций ляпунова .....	125
<i>Астахова И.И., Вагин В.Н., Фомина М.В.</i> Методы и алгоритмы обобщения при работе с неопределенными атрибутами .....	133
<i>Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р.</i> Сегментация цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств.....	139
<i>Сибирев И.В.</i> Применение FBC–кластеризации временных рядов к анализу динамики оценок персонала.....	149
<i>Тимина И.А., Эгов Е.Н.</i> Корректировка прогноза временных рядов метрик проектной деятельности с учетом их аномалий .....	159
<i>Суворова А.В., Тулупьев А.Л.</i> Неопределенность в оценивании параметров рискованного поведения индивидов .....	170
<i>Харитонов Н.А., Золотин А.А., Тулупьев А.Л.</i> Глобальная непротиворечивость в алгебраических байесовских сетях: матрично-векторное представление условий непротиворечивости .....	178
<i>Заварзин Д.В.</i> Архитектура по для автоматизированного поиска аномальных шаблонов проектных метрик в организационно-технических системах .....	187

### СЕКЦИЯ 3. СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ

<i>Шакиров В.А.</i> Поддержка принятия решений в условиях неточно выраженных предпочтений на основе многокритериальной теории полезности.....	194
<i>Гусынин О.С., Розалиев В.Л.</i> Распознавание эмоционального состояния человека в реальном времени.....	205
<i>Ермоленко А.В.</i> Нечётко-нейросетевая модель поддержки принятия решений при идентификации автора рукописных документов в подразделениях рогвардии.....	213
<i>Рыбина Г.В., Данякин И.Д.</i> Некоторые аспекты реализации темпоральной версии комбинированного метода приобретения знаний для автоматизированного построения баз знаний в динамических интегрированных экспертных системах .....	222
<i>Бручес Е.П., Крайванова В.А.</i> О способе векторизации морфологической информации словоформы.....	232
<i>Степанов И.С., Хабаров В.И.</i> Разработка обучающего комплекса с контентом в формате онтологий .....	240
<i>Виноградов Г.П.</i> Модель процесса принятия решений с выбираемыми структурами представлений и предпочтений .....	250
<i>Клюшин А.Ю., Мutowкина Н.Ю.</i> Методы минимизации влияния условий расплывчатой неопределенности на принятие управленческих решений.....	259
<i>Мutowкина Н.Ю., Семенов Н.А.</i> Нечеткие взаимодействия в человекообразных системах.....	267
<i>Поletaев В.С.</i> Нечеткий логический вывод о возникновении угроз информационной безопасности .....	277
<i>Захарова А.А.</i> База знаний системы поддержки принятия решений стратегического управления предприятия .....	287
<i>Филиппов А.А., Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г., Гуськов Г.Ю.</i> Разработка нечеткой базы знаний на основе анализа контекстов проблемной области.....	295

## СЕКЦИЯ 4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

<i>Ярушев С.А., Аверкин А.Н., Федотова А.В.</i> Анализ временных рядов на основе нечетких когнитивных карт и нейронных сетей.....	305
<i>Николаев П.Л.</i> Распознавание активности человека сверточной нейронной сетью .....	315
<i>Пучков А.Ю.</i> Извлечение знаний в задаче калмановской фильтрации на основе нечеткой кластеризации .....	320
<i>Найханов Н.В., Найханова Л.В.</i> Алгоритм вычисления меры семантической ассоциации постов блогов .....	329
<i>Афанасьева Т.В.</i> Преобразования числового временного ряда с использованием лингвистической переменной значений .....	334
<i>Фронина М.М.</i> Исследование методов выявления схожих клиентов по заданным характеристикам и построение модели для решения задачи идентификации физических лиц .....	342
<i>Баязитов Г.А., Исхаков А.Р., Рафиков А.Р.</i> Вычисление площади озера на спутниковых снимках генетическим алгоритмом .....	353
<i>Parasich A.V., Kaftannikov I.L., Parasich V.A., Parasich I.V.</i> Algorithm of geometric shapes recognition using segment-based shape descriptors .....	361
<i>Дударин П.В., Ярушкина Н.Г.</i> Подход к кластеризации коротких текстовых фрагментов по иерархическому классификатору .....	367
<i>Мальчевская Е.А., Золотин А.А., Тулупьев А.Л.</i> Алгоритмы апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях: рафинирование матрично-векторного представления .....	376
<i>Яшин Д.В.</i> Использование методов машинного обучения для настройки параметров комбинированной модели прогнозирования временного ряда.....	389
<i>Сулейманов А.А., Абрамов М.В.</i> Подход к построению и анализу социального графа сотрудников некоторой компании .....	394
<i>Слѣзкин Н.Е., Абрамов М.В., Тулупьева Т.В.</i> Подход к восстановлению мета-профиля пользователя информационной системы на основании данных из социальных сетей .....	399
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	<b>405</b>



# CONTENTS

## SECTION 1. FUZZIYE SYSTEM IN INDUSTRY

<i>Matorin S.I., Mikhelev V.V.</i> Application of the fuzzy system apparatus for development of the system-objective approach .....	20
<i>Dzhambekov A.M.</i> Algorithm for determining the settings of the temperature regulator at the output from the oven in various modes of the catalytic riforming process .....	25
<i>Saiapin A.V., Gerasimova D.S.</i> An analysis of statistical characteristics of failures intensity of manned aircrafts .....	31
<i>Здаранок Ю.А.</i> Лингвистические и акустические ресурсы компьютерной системы для анализа и интерпретации речевой интонации.....	40
<i>Gavrilyuk E.A., Mantserov S.A.</i> Fuzzy management method of the industrial equipment technical condition.....	50
<i>Tkachenko K.S.</i> Highly loaded node in the distributed environment under the influence of an malicious events.....	55
<i>Golchevskiy Yu.V., Filimonova N.A.</i> Information security aspects features and malicious activity detection in the internet of things.....	66
<i>Bogatikov V.N., Prorokov A.E., Sanaeva G.N., Sanaeva N.A.</i> Application of the method of piece-linear approximation at the development of the model of the process of oxidative pyrolysis for the control system synthesis.....	76
<i>Burdo G.B., Sorokin A.Yu., Isaev A.A., Stoyanova O.V.</i> Models for quality management in the creation of high-tech engineering products .....	83
<i>Romanov A.A.</i> An overview of labor intensity evaluation techniques in production.....	89
<i>Pokhilko A.F., Tsygankov D.E.</i> Increasing the informativity of the 3d model based on the structural-semantic representation .....	96

## SECTION 2. FUZZY MODELS AND SOFT CALCULATIONS

<i>Anan'ev V.V., Kononov V.A., Petrova S.Y.</i> Interactive detection of intended target object from video stream .....	103
<i>Nikitin N.A., Orlova Yu.A., Rozaliev V.L.</i> Program for sound generation based on image color spectrum with using the recurrent neural network.....	114
<i>Zhuykov I.V., Nekhaev I.N.</i> Algebraic model of structure of complication of tasks in the intelligent testing system .....	124
<i>Alekseev F.F.</i> Neurogenetic algorithms for the synthesis of fuzzy discrete control systems with using of lyapunov vector functions method ....	132
<i>Astachova I.I., Fomina M.V., Vagin V.N.</i> Methods and algorithms of generalization by operation with uncertain attributes.....	138
<i>Khamdamov R.Kh., Saliev E.A., Mirzaeva G.R.</i> Segmentation of color images on the base of apparatus of fuzzy sets' theory.....	148
<i>Sibirev I.V.</i> The application of FBC–clustering of time series to analyze the dynamics of assessment personnel .....	158
<i>Timina I.A., Egov E.N.</i> Correction of the projection of the progressive times of the metrics of project activity with their accounting their anomalies.....	168
<i>Suvorova A.V., Tulupyev A.L.</i> Uncertainty in estimating individual risky behavior parameters.....	177
<i>Kharitonov N.A., Zolotin A.A., Tulupyev A.L.</i> Global consistency in algebraic bayesian networks: matrix-vector representation of reconciliation requirements .....	186
<i>Zavarzin D.V.</i> Software architecture for automate search of anomaly patterns in design metrics of organizational-technical systems .....	193

## SECTION 3. DECISION SUPPORT SYSTEMS AND KNOWLEDGE MANAGEMENT

<i>Shakirov V.A.</i> Decision making support under uncertainty preferences based on multi-attribute utility theory .....	204
<i>Gusynin O.S., Rozaliev V.L.</i> Real time human emotions recognition .....	212
<i>Ermolenko A.V.</i> Decision-making support for neural network handwritten statements author identifications .....	220
<i>Rybina G.V., Danyakin I.D.</i> Some aspects of implementation of temporal version of the combined knowledge acquisition method for automated knowledge base construction in dynamic integrated expert systems .....	230
<i>Bruches E.P., Krayvanova V.A.</i> About a method for vectorizing morphological information of a wordform .....	239
<i>Stepanov I.S., Khabarov V.I.</i> Development of the training complex with the content in the format of ontologies.....	249
<i>Vinogradov G.P.</i> Model of the process of decision-making with the selected structures of presentations and preferences .....	258
<i>Klyushin A.Yu., Mutovkina N.Yu.</i> Methods of minimization of influence of conditions of fuzzy ambiguity on adoption of management decisions .....	266
<i>Mutovkina N.Yu., Semenov N.A.</i> Fuzzy interactions in human-intelligent systems .....	276
<i>Poletaev V.S.</i> Fuzzy inference on the occurrence of information security threats.....	286
<i>Zakharova A.A.</i> Knowledge base for the strategic management decision support system of enterprise.....	294
<i>Filippov A.A., Moshkin V.S., Yarushkina N.G., Guskov G.Yu.</i> Development a fuzzy knowledge basis based on the analysis of domain contexts.....	304

## SECTION 4. INTELLECTUAL DATA ANALYSIS

<i>Yarushev S.A., Averkin A.N., Fedotova A.V.</i> Time series analysis based on fuzzy cognitive maps and neural networks.....	313
<i>Nikolaev P.L.</i> Human activity recognition by convolutional neural network.....	319
<i>Puchkov A.Y.</i> Data mining in kalman filtering task based on fuzzy clusterization .....	328
<i>Naykhanov N.V., Naykhanov L.V.</i> Measure semantic association for pair blog-posts .....	333
<i>Afanasieva T.V.</i> Transformations of a numerical time series with the use of a linguistic variable of values.....	341
<i>Fronina M.M.</i> Investigation of the methods of identification of similar customers on the assigned characteristics and building a model for solving the identification of physical persons.....	352
<i>Bayazitov G.A., Iskhakov A.R., Rafikov A.R.</i> Calculation of lake area on satellite images by genetic algorithm .....	360
<i>Парасич А.В., Кафтанников И.Л., Парасич В.А., Парасич И.В.</i> Алгоритм распознавания геометрических фигур на основе сравнения дескрипторов в виде набора отрезков .....	366
<i>Dudarin P.V., Yarushkina N.G.</i> An approach to clustering of short text fragments by hierarchical classifier .....	375
<i>Malchevskaya E.A., Zolotin A.A., Tulupyev A.L.</i> Local propagation algorithms in algebraic bayesian networks: final rendering to matrix-vector equations.....	388
<i>Yashin D.V.</i> Use of machine learning methods for setting parameters of the combined time series forecasting model .....	393
<i>Suleimanov A.A., Abramov M.V.</i> Approach to construction and analysis of the social graph of employees of a some company .....	398
<i>Slezkin N.E., Abramov M.V., Tulupyeva T.V.</i> Approach to reconciliation of information system user's meta-profile based on data from social networks websites.....	404
<b>AUTHORS INDEX</b> .....	406

# СЕКЦИЯ 1 НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 004.8

## ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА

Маторин С.И. (*matorin@bsu.edu.ru*)  
Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, Белгород

Михелёв В.В. (*keeper121@ya.ru*)  
Белгородский государственный технологический  
университет имени В.Г.Шухова, Белгород

Работа посвящена развитию методов системно-объектного подхода для формализации сложных, многоуровневых систем с помощью нечёткого аппарата. Используется системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект». Поднимается проблема описания нечётких процессов адаптации и эволюции систем, как функционального запроса.

**Ключевые слова:** нечёткая логика, системно-объектный подход, «Узел-Функция-Объект», внешняя и внутренняя детерминанта

### 1 Введение

Все элементы современного промышленного производства, начиная с конкретных технологических процессов и заканчивая производственными организациями различного уровня, представляют собой сложные системы. При этом известно, что сложную систему проще создать, чем проанализировать и понять, как она работает. Именно поэтому одним из основных направлений проектирования и исследования различных систем в промышленности является использование системного подхода и разнообразных технологий системного моделирования.

Одним из перспективных, с точки зрения авторов, направлением системного подхода является системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» [Маторин, 2005]. Результаты системных исследований в настоящее время показывают, что в реальной действительности не существует идеально (абсолютно) адаптированных систем. Т.е. все существующие системы, по сути дела, находятся в процессе адаптации или даже эволюции к своим функциональным запросам. Кроме того, реально существующие системы одновременно являются частями (подсистемами) нескольких надсистем и вынуждены, следовательно, одновременно адаптироваться к нескольким разным функциональным запросам.

Это приводит к необходимости применения для описания соотношения упомянутых детерминант, а также процессов адаптации и эволюции, систем нечетких алгоритмов и мягких вычислений.

## **2 Основные понятия системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект»**

Концепция УФО-подхода состоит из следующих положений. Во-первых, система рассматривается как *функциональный объект, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса* (т.е. надсистемы) [Мельников, 1978]. При этом рассматривается два принципиально различных вида систем, в соответствии с предложенным в работе [Шрейдер и др., 1982] делением систем на: *внутренние системы* (системы-явления) и *внешние системы* (системы-классы).

Во-вторых, любая система обязательно связана с другими системами и эти связи представляют собой *потоки элементов глубинного яруса связанных систем*. При этом связи данной системы с другими системами – функциональные, связи между подсистемами данной системы – поддерживающие.

В-третьих, упомянутое в определении системы явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (*внешняя детерминанта системы*). Эта детерминанта системы есть причина ее возникновения, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, она (внешняя детерминанта системы) рассматривается в качестве **универсального системообразующего фактора**. Функционирование же системы под влиянием внешней детерминанты является ее *внутренней детерминантой*, так как непосредственно определяет ее внутренние свойства (структурные, функциональные и субстанциальные свойства подсистем). Кроме того, функционирование системы в соответствии с внешней детерминантой

устанавливает между системой и надсистемой *отношение поддержания функциональной способности более целого* [Мельников, 1978]. При этом процесс приближения внутренней детерминанты системы к ее внешнему детерминанту представляет собой *адаптацию* системы к запросу надсистемы, а адаптация системы к изменяющейся внешней детерминанте – ее *эволюцию*.

В-четвертых, следствием упомянутого выше определения системы и понимания связи между системами является представление системы в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), где:

- **узел** - структурный элемент надсистемы в виде перекрестка связей данной системы с другими системами;
- **функция** - динамический (функциональный) элемент надсистемы, выполняющий определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования связей данного узла;
- **объект** - субстанциальный элемент надсистемы, реализующего данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающего конструктивными, эксплуатационными и т.д. характеристиками.

Для агрегации системы из составных частей, представляемых в виде УФО-элементов, или для декомпозиции системы на такие составные части определены следующие правила комбинирования УФО-элементами (именуемые **правилами системной композиции**).

1. Присоединения: элементы должны присоединяться друг к другу в соответствии с качественными характеристиками присущих им связей (потоков).
2. Баланса: при присоединении элементов друг к другу (в соответствии с первым правилом) должен обеспечиваться баланс «притока» и «оттока» по входящим и исходящим функциональным связям (потокам).
3. Реализации: при присоединении элементов друг к другу (в соответствии с первым и вторым правилами) должно быть обеспечено соответствие интерфейсов и количественных объектных характеристик функциональным.
4. Замкнутости: поток, не связанный так или иначе с «проточными» потоками от входа к выходу, замкнут т.е. образует цикл.

### 3 Использование нечёткой логики для описания понятий системно-объектного подхода

Нечёткая логика — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии нечёткого множества, впервые введённого Л. Заде в 1965 году как объекта с *функцией принадлежности* элемента к множеству, принимающей любые значения в интервале  $[0, 1]$ , а не только 0 или 1 [Zadeh, 1978].

На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечёткими множествами, и формулируется понятие лингвистической переменной, в качестве значений которой выступают нечёткие множества. Предметом нечёткой логики считается исследование рассуждений в условиях нечёткости, размытости, сходных с рассуждениями в обычном смысле, и их применение в вычислительных системах.

Понятие нечеткого вывода занимает центральное место в нечеткой логике и в теории нечеткого управления. Говоря о нечеткой логике в системах управления, можно дать следующее определение системы нечеткого вывода. *Система нечеткого вывода* – это процесс получения нечетких заключений о требуемом управлении объектом на основе нечетких условий или предпосылок, представляющих собой информацию о текущем состоянии объекта.

При помощи нечётких множеств можно формально определить неточные и многозначные понятия, такие как «высокая температура», «средний рост», «дорогая квартира». Перед формулированием определения нечёткого множества необходимо задать так называемую область рассуждений. В случае неоднозначного понятия «дорогая квартира» будет признаваться одна квартира дорогой, если мы ограничимся диапазоном  $[0, 1000 \text{ тыс. рублей}]$ , и совсем другая в диапазоне  $[0, 100000 \text{ тыс. рублей}]$ . Область рассуждений, называемая в дальнейшем пространством или множеством, будет чаще всего обозначаться символом  $X$ . Необходимо помнить, что  $X$  – чёткое множество.

Нечётким множеством  $A \subseteq X$ , называется множество пар  $A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\}$ , где  $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$  – функция принадлежности нечёткого множества  $A$ . Эта функция приписывает каждому элементу  $x \in X$  степень его принадлежности к нечёткому множеству  $A$  [Синюк и др., 2015].

Существует несколько способов описания функций принадлежности нечётких множеств. Например, с помощью треугольной, трапецеидальной, гауссовой, колоколообразной и других функций [Круглов и др., 2001].

Рассмотрим описание нечётких величин на примере треугольной функции принадлежности. Под треугольной нечёткой величиной будем понимать



такую нечёткую величину, которая полностью определяется тройкой  $(a, b, c)$  обычных, чётких чисел, таких, что выполняется следующее неравенство  $a < b < c$ . Функция принадлежности таких величин определяется следующим выражением:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{для } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{для } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

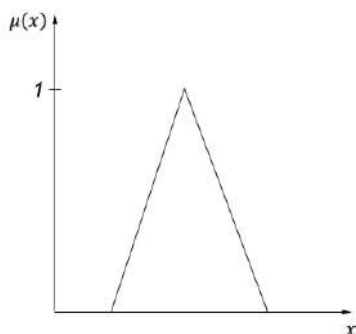


Рисунок 1 – Графическое изображение треугольной нечёткой величины (1)

Системы нечёткого логического вывода играют важную роль в многочисленных приложениях теории нечётких множеств, таких как нечёткие экспертные системы и многие другие. В основе таких систем лежат логические правила вида «Если ..., то ...», в которых посылки и выводы являются нечёткими понятиями. Такого рода приближенные рассуждения лежат в основе способности человека понимать естественный язык, распознавать сложные образы, принимать решения в сложной и не полностью определённой среде.

Для логического вывода в традиционной логике используется правило *modus ponens* [Zadeh, 1978], смысл которого заключается в том, что мы судим об истинности высказывания  $B$  по истинности высказываний  $A$  и  $A \rightarrow B$ , где  $A$  – посылка, а  $B$  – заключение. Например, пусть  $A$  – высказывание «Петя в больнице»,  $B$  – высказывание «Петя болен», то если истинны высказывания «Петя в больнице» и «Если Петя в больнице, то он болен», то истинно и высказывание «Петя болен». Данное правило можно использовать и для нечёткого вывода. Например, мы знаем, что  $A$  истинно и что,  $A' \rightarrow B$ , где  $A'$  – это приближение к  $A$ . Тогда мы можем сделать вывод, что  $B$  приближённо истинно –  $B'$ .

Рассмотрим для описания каких понятий системно-объектного подхода целесообразно использовать аппарат нечеткой логики и мягких вычислений. Анализ системологического инструментария в работах [Бондаренко и др., 1996; Маторин и др., 2016] показывает, что отношение внешней и внутренней детерминант системы может быть описано как отношение области требуемых функциональных состояний (*ОТФС*) системы в соответствии с запросом надсистемы к области возможных функциональных состояний (*ОВС*) исходного материала для требуемой системы в виде меры системности (*Ms*). При формировании системы с требуемой функцией в узле надсистемы по запросу последней выбирается исходный материал для нужной системы, для которого, естественно, справедливы неравенства:  $OBC > OTFC$  и  $0 > Ms < 1$ . Иной выбор потребует или создания нескольких систем вместо одной, или приведет к нарушениям законов природы, так как мера системности не может быть ни нулевой, ни равной единице. Все сказанное соответствует закону необходимого разнообразия [Эшби, 2005], по крайней мере, в такой его интерпретации, что для создания системы, способной справиться с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием, необходимо обеспечить, чтобы система имела большее разнообразие возможностей, чем разнообразие решаемой проблемы.

Таким образом, отношение множества или области *ОТФС* к множеству или области *ОВС*, т.е. мера *Ms*, само является нечетким множеством и нечетким множеством является обусловленное отношением между внутренней и внешней детерминантой отношение поддержания функциональной способности целого. Можно записать вышеприведенные понятия с точки зрения нечёткой логики. Примем, что  $\overline{OTFC}$  – нечёткое множество, определённое на пространстве *ОВС*, т.е.  $\overline{OTFC} \subseteq OBC$ . Следовательно, мера *Ms* будет функцией принадлежности нечёткого множества  $\overline{OTFC}$ .  $\overline{OTFC} = \{(x, \mu_{\overline{OTFC}}(x)); x \in OBC\}$ , где  $\mu_{\overline{OTFC}}(x): OBC \rightarrow [0, 1]$ ;  $\mu_{\overline{OTFC}}(x) \equiv Ms$ .

#### 4 Заключение

В связи с тем, что соотношение внешней и внутренней детерминант любой системы не может быть описано классическими формальными средствами, то необходимо использовать *нечёткий подход*. Как было показано в статье, можно формализовать нечёткие параметры с помощью функций принадлежности. Нечеткий вывод занимает центральное место в нечеткой логике и системах нечеткого управления. Процесс нечеткого вывода представляет собой некоторую процедуру или алгоритм получения нечетких заключений на основе нечетких условий или предпосылок с использованием рассмотренных выше понятий нечеткой

логики. Этот процесс соединяет в себе все основные концепции теории нечетких множеств: функции принадлежности, лингвистические переменные, нечеткие логические операции, методы нечеткой импликации и нечеткой композиции. Именно поэтому использование нечеткой логики оправдано для описания понятий системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». Разработка алгоритмов описания и формализации параметров сложных систем с помощью нечеткого аппарата является задачей последующих исследований.

### Список литературы

- [Бондаренко и др., 1996] Бондаренко М.Ф., Маторин С.И., Соловьева Е.А. Анализ системологического инструментария концептуального моделирования проблемных областей // Научно-техническая информация. Сер. 2. 1996. №4. С.1-11.
- [Маторин и др., 2005] Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект» // Научно-техническая информация. Сер.2. 2005. N1. С.1-8.
- [Маторин и др., 2016] Маторин С.И., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. Общесистемные принципы в терминах системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» // Труды ИСА РАН. 2016. №1. Том 66. С.10-17.
- [Мельников, 1978] Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Сов. радио, 1978. 368 с.
- [Шрейдер и др.,1982] Шрейдер Ю.А., Шаров А.А., Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. 152 с.
- [Zadeh, 1978] Zadeh L. A. PRUF – A Meaning Representation Language for Natural Language // Intern/ J. Man-Machine Studies. 1978. V. 10. P. 395-460.
- [Синюк и др., 2015] Синюк В.Г., Куценко Д.А. Методы вывода для систем со многими нечеткими входами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2015. №3. С. 49-57.
- [Круглов и др., 2001] Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Радио и связь, 1990.
- [Эшби, 2005] Эшби Р.У. Введение в кибернетику: пер. с англ. / под. ред. В. А. Успенского. Предисл. А. Н. Колмогорова. Изд. 2-е, стереотипное. М.: «КомКнига», 2005. 432 с.
- [Синюк и др., 2016] Синюк В.Г., Михелёв В.В. Основные положения экспертной системы с правилом вывода на основе нечеткой степени истинности // Научный результат. Информационные технологии. – Т.1, №3 2016. С. 43-52.

# APPLICATION OF THE FUZZY SYSTEM APPARATUS FOR DEVELOPMENT OF THE SYSTEM-OBJECTIVE APPROACH

Matorin S.I. (*matorin@bsu.edu.ru*)

Belgorod National Research University, Belgorod

Mikhelev V.V. (*keeper121@ya.ru*)

Belgorod State Technological University named after V.G.  
Shukhov, Belgorod

The work is devoted to the development of methods of the system-object approach for the formalization of complex, multilevel systems using a fuzzy approach. The system-object approach «Node-Function-Object» is used. The problem of describing fuzzy processes of adaptation and evolution of systems as a functional query is raised.

**Keywords:** fuzzy logic, system-object approach, «Node-Function-Object», external and internal determinant.

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСТРОЕК РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ ПЕЧИ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Джамбеков А.М. (*azamat-121@mail.ru*)  
Астраханский государственный технический  
университет, Астрахань

В статье приведен алгоритм определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах процесса каталитического риформинга. Выполнена реализация алгоритма в системе MATLAB.

**Ключевые слова:** каталитический риформинг, температура на выходе из печи, классический ПИД-регулятор, нечеткий ПИД-регулятор.

### 1 Введение

Каталитический риформинг (КР) – один из важнейших процессов современной нефтеперерабатывающей промышленности [Имашев и др., 2009]. Для регулирования одного из основных параметров процесса КР, температуры на выходе из печи, применяют автоматические системы регулирования (АСР) с классическим ПИД-регулятором в связи со значительной инерционностью канала регулирования [Джамбеков и др., 2016a]. При этом операторы процесса КР накапливают опыт, выраженный в виде «лингвистических правил управления» типа «Если ошибка регулирования мала, то управляющее воздействие большое» [Джамбеков и др., 2014b]. Большие возможности для обработки лингвистических правил имеют методы теории нечетких множеств [Джамбеков и др., 2014a]. Становится возможной разработка нечеткого регулятора на основе базы правил регулирования температуры на выходе из печи. Выбор классического или нечеткого регулятора осуществляется при сравнительном анализе переходных процессов.

Воздействие возмущений отрицательно влияет на качество регулирования температуры на выходе из печи. При этом изменяется режим процесса КР. Использование параметров режима при расчете

настроек регуляторов позволяет повысить качество регулирования температуры на выходе из печи. Необходима разработка алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах.

Под влиянием различных возмущений (изменение активности катализатора, качества сырья и пр.) процесс КР переходит из текущего режима  $y$  в новый режим  $y_1$ , для которого необходимо определение настроек регулятора  $R_{opt}$ , обеспечивающих наилучшие показатели качества переходного процесса, например, минимум квадратичного интегрального критерия  $J$ .

В общем виде алгоритм определения настроек  $R_{opt} \in R$  регуляторов в различных режимах рассмотрен в [Джамбеков и др., 2016с]. Необходим синтез алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах.

Цель работы – повышение эффективности процесса КР путем синтеза алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах данного процесса.

## **2 Синтез алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах**

Пусть имеется конечное множество настроек регулятора температуры на выходе из печи  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  и конечное множество режимов процесса КР  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ .

Объект управления и действующее на объект возмущение описываются соответствующими передаточными функциями  $P(s)$  и  $H(s)$ . Передаточная функция объекта управления  $P(s)$  не зависит от режима процесса КР. Передаточная функция возмущения  $H(s)$  зависит от режимных параметров процесса КР.

Необходимо построение кривых переходного процесса для каждого режима  $y \in Y$  и для каждой настройки регулятора  $r \in R$ . Для заданного режима  $y_0 \in Y$  путем сравнительного анализа переходных процессов по показателям качества определяют наилучшие настройки регулятора  $R_{opt} \in R$ .

Расчет настроек регулятора производят с использованием известных методов для классического или нечеткого регулятора. Для расчета настроек классического ПИД-регулятора используют метод Циглера-Никольса [Джамбеков и др., 2016б]. При этом определяют коэффициенты пропорциональной  $K_P$ , дифференциальной  $T_D$  и интегральной  $T_I$  составляющих ПИД-регулятора. Настройки нечеткого ПИД-регулятора определяют с использованием специальной методики [Джамбеков и др., 2017]. Для нечеткого ПИД-регулятора определяют систему нечеткого логического вывода, вид функций принадлежности лингвистических

переменных, коэффициенты пропорциональной  $K_P$ , дифференциальной  $T_D$  и интегральной  $T_I$  составляющих ПИД-регулятора.

С учетом вышеизложенного синтезирован алгоритм определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах процесса КР.

Шаг 1. Задание соответствующих передаточных функций ОУ и действующего на ОУ возмущения  $P(s)$  и  $H(s)$ .

Шаг 2. Определение множества режимов процесса  $Y$  и задание режима  $y_0 \in Y$  при изменении параметров передаточной функции возмущения  $H(s)$ .

Шаг 3. При выборе классического ПИД-регулятора переход к шагу 4. Иначе, при выборе нечеткого ПИД-регулятора – к шагу 5.

Шаг 4. Определение множества настроек классического ПИД-регулятора  $R$  с помощью метода Циглера-Никольса для заданного режима  $y_0 \in Y$ .

Шаг 5. Определение множества настроек нечеткого ПИД-регулятора  $R$  с использованием специальной методики для заданного режима  $y_0 \in Y$ .

Шаг 6. Исследование переходных процессов в АСР температуры на выходе из печи риформинга для заданного режима  $y_0 \in Y$ .

Шаг 7. Определение оптимальных настроек регулятора температуры  $R_{opt} \in R$  путем сравнительного анализа показателей качества переходных процессов.

Процесс подогрева в печи риформинга рассмотрен в качестве объекта управления. Определение настроек регулятора температуры на выходе из печи осуществляется при возмущении - перепаде температуры в печи  $\Delta T$ .

### **3 Реализация алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в системе MATLAB**

Для определения настроек нечеткого ПИД-регулятора температуры на выходе из печи выполнено математическое описание объекта управления и возмущения в виде передаточных функций, а также определены настройки классического ПИД-регулятора в системе MATLAB.

На основе алгоритма определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах процесса КР, реализованного в системе MATLAB, определены настройки нечеткого ПИД-регулятора MT20-R-E MT-20E FOTEK + PID Fuzzy: ФП типа *gaussmf*; система нечеткого вывода Мамдани;  $P=0,345$ ,  $I=0,017$ ,  $D=1,725$ , обеспечивающие достижение наилучших значений показателей качества переходного процесса: перерегулирования 0,005 °С и квадратичного интегрального критерия 1216.

В результате сравнения качества переходных процессов в АСР с классическим и нечетким ПИД-регуляторами (рис.1) получены положительные эффекты от использования нечеткого ПИД-регулятора:

уменьшение перерегулирования в 10,4 раза; уменьшения квадратичного интегрального критерия в 4,3 раза.

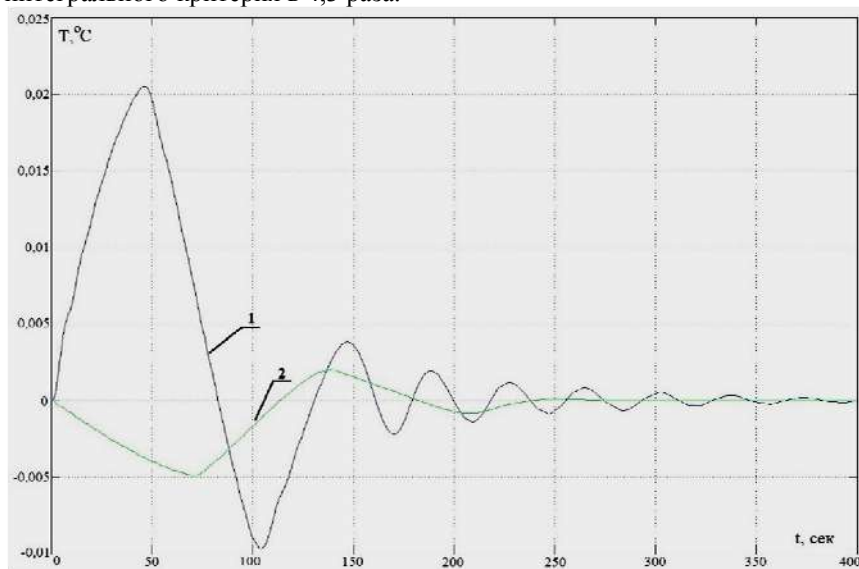


Рисунок 1 – Переходные процессы в АСР температуры на выходе из печи: 1 – с классическим ПИД-регулятором; 2 – с нечетким ПИД-регулятором

#### 4 Заключение

Таким образом, синтезирован алгоритм определения настроек регулятора температуры на выходе из печи в различных режимах процесса КР, отличающийся количественным учетом режимных параметров в передаточной функции возмущения, и позволяющий определять настройки регулятора температуры на выходе из печи риформинга в зависимости от текущих режимных параметров. На основе алгоритма для заданного режима процесса КР определены настройки нечеткого регулятора ПИД-типа MT20-R-E MT-20E FOTEK + PID Fuzzy, обеспечивающие достижение показателей переходного процесса: перерегулирования  $0,005^{\circ}\text{C}$  и интегрального показателя качества 1216.

#### Список литературы

[Джамбеков и др., 2014а] Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Разработка нечеткой системы управления процессом вторичной переработки бензина // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. № 3(54).



- [Джамбеков и др., 2014b] Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Управление процессом каталитического риформинга на основе экспертной информации // Системы. Методы. Технологии. – 2014. № 4(24).
- [Джамбеков и др., 2016a] Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Локальный ПИД-регулятор стабилизации катализата // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. № 3(51).
- [Джамбеков и др., 2016b] Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Математическое описание качества процесса каталитического риформинга на основе гибридной модели // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы 16-ой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова. – 2016.
- [Джамбеков и др., 2016c] Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Нечеткий регулятор стабилизации катализата // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. № 4(52).
- [Джамбеков и др., 2017] Джамбеков А.М., Щербатов И.А., Проталинский О.М. Расчет эффективности процесса каталитического риформинга с использованием гибридной модели // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2017. № 2.
- [Имашев и др., 2009] Имашев У.Б., Тюрин А.А., Удалова Е.А. Особенности развития процесса каталитического риформинга в России // Башкирский химический журнал. – 2009. Т.16. № 4.

## **ALGORITHM FOR DETERMINING THE SETTINGS OF THE TEMPERATURE REGULATOR AT THE OUTPUT FROM THE OVEN IN VARIOUS MODES OF THE CATALYTIC RIFORMING PROCESS**

Dzhambekov A.M. (*azamat-121@mail.ru*)  
Astrakhan State Technical University, Astrakhan

The article provides an algorithm for determining the settings of the temperature regulator at the outlet from the furnace in various modes of the catalytic reforming process. Implemented the implementation of the algorithm in the MATLAB system.

**Keywords:** catalytic reforming, outlet temperature, classical PID controller, fuzzy PID controller.

## АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ АВИАЦИОННЫХ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BOOTSTRAP-МЕТОДА

Саяпин А.В. (*alstutor@gmail.com*)

Герасимова Д.С. (*wolhidka@mail.ru*)

Сибирский государственный университет техники и  
технологий имени М. Ф. Решетнева, Красноярск

В работе рассматривается использование bootstrap-метода для оценки статистических характеристик надежности агрегатов авиационной техники.

**Ключевые слова:** надежность, авиация, авиационная техника, bootstrap, статистика.

### 1 Введение

Разработка методов и средств по снижению отказов самолетных и вертолетных систем, а также повышение безопасности полетов является актуальной задачей. Это связано как с экономическими факторами, как например, снижением издержек на обслуживание авиационной техники и, соответственно, повышение экономической эффективности авиационного транспорта [Акимова, Н 2000], так и с психологическими факторами [Филиппьева Т. 2006].

Повышение надежности технических компонентов воздушного судна невозможно без эффективной оценки надежности существующих конструкций.

В настоящее время накопление информации об отказах авиационной техники и приборов ведется во многом бессистемно [Князьков П. 2001]. Отсутствует сквозная документация на приборы и запчасти, журналы учета отказов часто не содержат информацию о предыдущих отказах или ремонтах данной детали или компонента. Все это затрудняет сбор и обработку статистической информации об отказах техники, а, следовательно, и о ее надежности. Особое значение в таких условиях приобретают методы, связанные со статистическим анализом малых выборок.

## **2 Статистические методы анализа малых выборок**

В статистике отсутствует четкое определение малых выборок. Обычно выборку называют малой, если ее объем не превышает 30 единиц [Efron 1993]. Для оценки параметров малых выборок обычно используют специальные методы распространения характеристик выборки на генеральную совокупность, такие, как метод прямого пересчета или способ поправочных коэффициентов [Buhlmann 2002], а также метода прямоугольных вкладов или метода уменьшения неопределенности либо метода последовательных медиан [Efron 2012].

В большинстве случаев при оценке параметров исходят из предположения о нормальном распределении исследуемой величины. При оценке надежности технических систем отдельные величины часто рассматриваются как имеющие экспоненциальное распределение, однако зачастую такое предположение делается в целях облегчения дальнейших расчетов и исход из общих предположений о поведении технической системы.

При данном подходе большое значение имеют не только точечные, но и интервальные оценки статистических характеристик исследуемой величины, однако их получение затруднено по вышеупомянутым причинам, и в первую очередь по причине малого объема выборки.

В 60-х годах XX в. были разработаны статистические методы, ориентированные на подобные задачи, а именно jackknife-метод (метод складного ножа), и bootstrap-метод [Davison 1997]. Эти методы относятся к методам передискретизации, то есть к методам, позволяющим получить оценки (как точечные, так и интервальные) характеристик генеральной совокупности, формируя новые выборки на основе уже имеющейся выборки малого объема.

Данные методы не получили широкого распространения ввиду относительно высокой вычислительной сложности и отсутствия развитых компьютерных средств на момент их разработки. Второе рождение эти методы получили в связи с широким распространением доступных компьютерных мощностей в конце XX века.

К достоинствам данных методов можно отнести их относительно высокую эффективность, а к недостаткам – отсутствие твердого теоретического обоснования.

Для оценки статистических параметров отказов авиационной техники был выбран bootstrap-метод как более эффективный [Devore 2003].

## **3 Исходные данные для анализа**

Для проведения анализа были выбраны данные об отказах технических изделий, установленных на воздушные суда Ан-24РВ ГППК «КрасАвиа».

Для данных узлов и агрегатов доступна следующая информация:

- наименование изделия;
- шифр изделия;
- заводской номер;
- дата изготовления;
- дата ремонта;
- наработка с начала эксплуатации, часов;
- наработка с последнего ремонта, часов.

С точки зрения надежности только что выпущенного воздушного судна наибольшее значение имеет вероятность безотказной работы, а, следовательно, наработка с начала эксплуатации.

Доступные данные содержали информацию о различных узлах и агрегатах воздушных судов. Для исследования были выбраны данные по отказам манометра авиационного МА-250М (в большой степени потому, что данных по отказам именно данного агрегата было наибольшее количество).

В доступных данных содержалась информация о 3 заменах прибора (табл. 1):

Таблица 1 – Нарботка с начала эксплуатации, часов

№	Нарботка с начала эксплуатации, часов
1.	3707
2.	10520
3.	3707
4.	10520
5.	21993
6.	3707
7.	10520
8.	3707
9.	10520
10.	21993

Совпадение значений наработки для разных экземпляров манометров связано с их заменой в ходе планового технического обслуживания воздушного судна.

#### **4 Использование bootstrap-метода для оценки параметров интенсивности отказов авиационных систем**

Как можно видеть, для проведения полноценного статистического анализа данных явно недостаточно. Попробуем провести оценку статистических характеристик с использованием bootstrap-метода.

Рассмотрим bootstrap-метод [Efron 1993].

Пусть дана выборка  $(z_1, z_2, \dots)$  требуется оценить параметр  $\theta$ . Необходимо выбрать количество  $N$  псевдовыборок, которые будут формироваться из элементов исходной выборки с возвращением. Для каждой из псевдовыборок  $(z_1^*, z_2^*, \dots)$   $n = 1, 2, \dots, N$  вычисляется псевдостатистика  $\theta_n^*$ . Псевдостатистики  $\theta_1^*, \theta_2^* \dots \theta_n^*$  сортируются от меньшей к большей. Квантилями  $q_{\lambda 1}^*, q_{1-\lambda 2}^*$  принимаются значения  $\theta_{[N\lambda 1]}^*, \theta_{n[N(1-\lambda 2)+1]}^*$ . С их помощью строится доверительный интервал.

Для представленных данных было построено 10000 псевдовыборок.

В результате среднее значение наработки составило 10106 часов. Среднеквадратичное отклонение для данной величины составило 2122 часа (значения округлены до целых).

При условии, что данная случайная величина имеет нормальное распределение, можно было бы утверждать, что с вероятностью 95% среднее время наработки на отказ составляет от 5862 до 14350 часа. Распределение данной величины показано на рисунке 1.

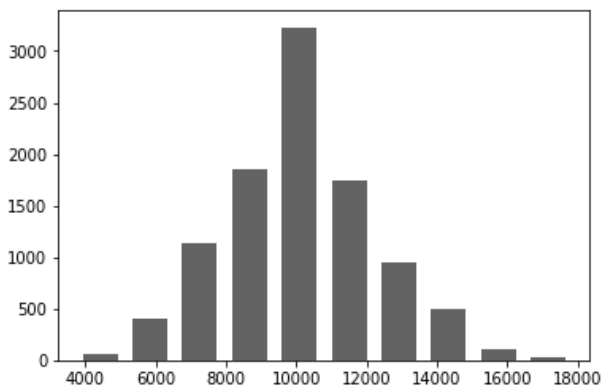


Рисунок 1 – Распределение среднего времени наработки на отказ

Можно утверждать, что математическое ожидание средней наработки на отказ близко к значению 10000 часов (более точно утверждать невозможно, поскольку применение метода bootstrap носит вероятностный характер).

## 5 Заключение

Традиционный расчет математического ожидания наработки на отказ дает значение 10089 часов, что очень близко к значению, полученному с использованием bootstrap-метода. Однако значение среднеквадратичного отклонения, вычисленного по исходной выборке, составляет 6686

(округлено до целых), что существенно отличается от значения, полученного с использованием bootstrap-метода.

Значение, полученное с использованием bootstrap-метода, выглядит более правдоподобным, хотя и требует дальнейшей верификации.

Использование традиционных оценок, очевидно, обеспечивает меньшую точность, так, в соответствии с данной оценкой, 47.5% манометров устанавливаются на борт воздушного судна уже неисправными либо выходят из строя в первые 10000 часов эксплуатации.

Таким образом, использование bootstrap-метода оценки позволяет получить более адекватные оценки.

К недостаткам данного метода следует отнести его стохастическую природу (в частности, следует отметить невозможность получения точечной оценки среднего времени наработки на отказ, оно изменяется от моделирования к моделированию, хоть и незначительно), а также отсутствие строгих доказательств его корректности.

Подводя итог, следует отметить, что требуются дальнейшие исследования применимости данного метода для оценки статистических характеристик надежности узлов и агрегатов воздушных судов.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность ГПКК «КрасАвиа» за предоставленные для расчета данные.

### Список литературы

- [Акимова Н. 2000] Акимова Н. Управление коммерческой эксплуатацией на основе системы показателей экономической эффективности деятельности авиакомпании Автореферат дис. на соискание учен. степени к.э.н.: (08.00.14), М, 2000, с. 56-101
- [Князьков П. 2001] Князьков П. Анализ и обеспечение надежности воздушных судов гражданской авиации в процессе их эксплуатации. Автореферат дис. на соискание учен. степени к.т.н.: (05.22.14), Санкт-Петербург, 2001, с. 67-98
- [Филиппева Т. 2006] Филиппева Т. Психологическое содержание труда бортопроводника воздушного судна гражданской авиации. Автореферат дис. на соискание учен. степени к.п.н.: (19.00.03), М, 2006, с. 198-201
- [Buhlmann 2002] Buhlmann P. Sieve bootstrap with variable length – Markov chains for stationary categorical Time series (with discussions) // Jour. Amer. Stat. Assoc. 2002, pp. 443-455.
- [Davison 1997] Davison A.C. and Hinkley D.V. Bootstrap Methods and Their Application // Cambridge University Press; Har/Dskt edition, 1997, pp. 529-552.
- [Devore 2003] Devore L.J. Probability and statistics for engineering and the science. // Duxbury press. 2003
- [Efron 1993] Efron B. and Tibshirani R.J. An Introduction to the Bootstrap // New York: Chapman & Hall, software, 1993, pp. 338-352.
- [Efron 2012] Efron B. Large-Scale Inference: Empirical Bayes Methods for Estimation, Testing, and Prediction // Cambridge University Press, 2012, pp. 89-112.

# AN ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF FAILURES INTENSITY OF MANNED AIRCRAFTS

Saiapin A.V. (*alstutor@gmail.com*)

Gerasimova D.S. (*wolhidka@mail.ru*)

Reshetnev Siberian State University of Science and  
Technology, Krasnoyarsk

The paper describes the using of the bootstrap statistical method for an estimation of mean time to failure value for spare parts of manned aircrafts.

**Keywords:** reliability, statistics, bootstrap, aviation, mean time to failure.

## LINGUISTIC AND ACOUSTIC RESOURCES OF THE COMPUTER-BASED SYSTEM FOR ANALYSIS AND INTERPRETATION OF SPEECH INTONATION

Zdaranok Y.A. (*yuliyazdaranok@gmail.com*)

Belarussian National Technical University, Minsk, Belarus

This paper considers suprasegmental parameters such as intonation, stress and speech rhythm. Correct articulation of sounds and correct pronunciation in the target language depend on prosodic structures presented by standard intonation patterns. Linguistic and acoustic resources provide the basis for computer-aided intonation training in and outside the classroom. There is a great need for new and innovative computer-aided programs. But there is no necessary software available for such teaching system and, therefore, such system appears to be of great relevance. Presented work describes as well the algorithm of designing of the computer-based system for analysis and interpretation of speech intonation.

**Keywords:** suprasegmental parameters, intonation, pronunciation, linguistic and acoustic resources, computer pronunciation training

### 1 Introduction

Intonation plays a significant role during the speech comprehension. Speech intonation shows a communicative intention of an utterance, its logical meaning, a prominence of the most significant theme in relation to general themes (actual division of a sentence), a distinction between semantically associated segments of speech, and an integration of speech elements within these segments. [Lobanov B., 2006].

Proper pronunciation of the target language is associated with the correct articulation of sounds and also with suprasegmental parameters. Suprasegmental parameters are aspects of speech, referred to prosody. By teaching prosody is important to understand and describe the suprasegmental parameters that are detected in the target language. It is also very important to describe the prosodic pattern of speech.



By learning prosody is necessary to know an intonation contours palette to convey the diversity of thoughts in speech. Therefore, the intonation should be taught in the context of a well-structured dialogue or discourse.

Speech is a universal means of communication. It includes the processes of generation and perception (reception and analysis) messages for communication purposes in all languages of the world where leading thought or mental image is implemented in the speech by acoustic instruments.

The sentence is a combination of grammatically and phonetically structured performance of human thought during the speech. It is known that the sentence possesses definite phonetic features: speech melody, sentence-stress, tempo, rhythm, pauses and timbre. Each feature performs a definite task, and all of them work simultaneously [Lobanov B., 20116]. An utterance consists of one or more phrases. The phrase has a semantic completeness and syntactic structure. The phrase is the largest unit with a complete phonetic intonation. The main distinguished unit in the phrase is the core, accomplished by pre-nucleus and post-nucleus elements.

## **2 Intonation pattern of melodic portrait**

The present work is a follow up study to the previously introduced model of universal melodic portraits (UMP) of accentual units (AU) for representation of phrase intonations in text -to-speech synthesis [Lobanov B., Okut T., 2014]. According to this model, a phrase is represented by one or more of AUs. Each unit, in turn, can be composed of one or more phonetic word. If there is more than one word in an AU, than only one word bears the main stress while other words carry a partial stress. Each AU consists of pre-nucleus (all phonemes preceding the main stressed vowel), nucleus (the main stressed vowel) and post-nucleus (all phonemes following the stressed vowel).

The UMP model assumes that topological features of melodic AU for particular type of intonation do not depend on a number or quality of phonemic content of a pre-nucleus, nucleus or post-nucleus, nor on the fundamental frequency range specific for a given speaker.

The UMP model allows to represent intonation constructs as a set of melodic patterns in normalized space {Time – Frequency}.

Time normalization is performed by bringing pre-nucleus, nucleus and post-nucleus elements of AU to standard time lengths. This sort of normalization levels out the differences in melodic contours caused by the number of words and phonemes in an AU.

For fundamental frequency normalization F0 min and F0 max are determined within the ensemble of melodic contours produced by a certain speaker. This sort of normalization cancels out the differences of melodic contours caused by speaker's voice register and diapason.

The normalization is calculated by the formula

$$F_0^N = (F_0 - F_{0_{min}}) / (F_{0_{max}} - F_{0_{min}}) \quad (1)$$

In certain cases, it may be beneficial to use statistical normalization instead of (1)

$$F_0^N = (F_0 - M) / \zeta \quad (2)$$

where  $M$  is mathematical expectation,  $\zeta$  is standard deviation. Note that  $M$  can be interpreted as a register and  $\zeta$  – as a diapason of speaker's voice.

Therefore, the normalized space for UMP may be presented as a rectangle with axes  $(TN, F_0^N)$  as schematically shown in Figure 1, while the interval  $[0 - 1/3]$  on the absciss  $TN$  Structure of linguistic resource is a pre-nucleus,  $[1/3 - 2/3]$  is a nucleus, and  $[2/3 - 1]$  is a post-nucleus. The intervals on the ordinate  $F_0^N$ :  $[0 - 1/3]$  – low level,  $[1/3 - 2/3]$  – mid-level,  $[2/3 - 1]$  – high level.

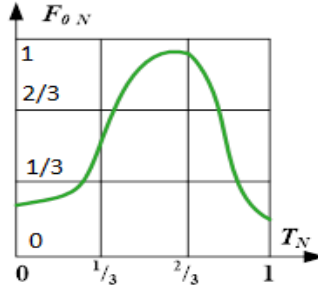


Figure 1 – Main view UMP IK

### 3 Structure of linguistic and acoustic resources

In present research we use the resources of English texts and audio-files [Ockenden, 2005], which include:

1. 44 everyday situations, each containing four dialogues in authentic conversational English;
2. All dialogues consist of 1051 sentences, including 704 affirmative sentences, 325 interrogative sentences and 22 exclamatory sentences, spoken by certain number of male and female speakers;
3. Situations relevant to those, who are studying or travelling in England, including eating out, entertainment and travel, as well as more general functions such as greetings, complaining and apologizing.

Each dialogue is structured by:

- the speaker (man and/or woman),
- the number of participants in the dialogue,
- the type of sentence: questions, statements and exclamations,
- the number of phrase units,

number of AU in the phrase,  
the specification pre-nucleus, nucleus, post-nucleus.

In his “Advice to Foreign Learners” A.C.Gimson emphasizes necessity of learning “the English usage of falls and rises to signify the mood of the speaker, so that an over-use of rises will not give an unintentional impression of, for example, diffidence or complaint, and too many falls create an unwitting effect of impolite assertiveness” [Grimson, 1996].

For that reason, the processing of acoustic materials was conducted according to the following intonation criteria:

the falling tune;  
the rising tune;  
the falling-rising tune.

(a) The falling tune

The voice falls from a high to a low note on one stressed syllable. It is used in short complete statements, for questions beginning with a question word, for question tags when the speaker is sure that what he says is right or for orders and exclamations.

(b) The rising tune

The voice rises on the last stressed word or on the unstressed syllables following the last stress. It is used for statements intended to encourage, for questions which are answered by, for questions beginning with question words when the speaker wishes to show some special interest, for question tags when the speaker is not sure that what he says is correct, for sentences ending with “please”; for “goodbye”; for “thank you” when it is used to show gratitude for a simple matter (passing the salt etc.)

(c) The falling-rising tune

The voice falls on the most important part of the sentence and rises again. It is used for apologies, for expressing tentative opinions.

According to the grammar rules of English there are two types of commonly used interrogative sentences: general and special questions. The statistics below show how often are interrogative sentences used depending on the situational moment during the interaction.

Table 1 – Statistics: General question

<i><b>Starts with</b></i>	<i><b>Number of questions</b></i>	<i><b>Starts with</b></i>	<i><b>Number of questions</b></i>
Is	16	Need	1
Are	12	Has	4
Am	1	Can	23
Was	2	Could	17
Were	1	Shall	2
Will	6	May	2
Do	26	Must	1
Does	4	Would	16

Did	2	TOTAL	140
Have	21		

Table 2 – Statistics: Special question

<i><b>Question word</b></i>	<i><b>Number of questions</b></i>	<i><b>Question word</b></i>	<i><b>Number of questions</b></i>
What	66	Whose	0
When	13	Wherefore	0
Why	2	Whatever	0
Where	14	Wherewith	0
Who	2	Whither	0
How	52	Whence	0
Which	8	However	0
Whom	0	TOTAL	157

Table 3 (English) and Table 4 (Russian) gives us a clear idea that the minimum (F0 min) and maximum (F0 max) of fundamental frequency - F0 differs in the entire ensemble of intonation patterns IKi [Bryzgunova, 1982] in the utterance spoken by native English speaker and native Russian speaker. That makes obvious that the voice of pitch in English is higher than the voice of pitch in Russian.

Table 3 – Shows the minimum (F0 min) and maximum (F0 max) of fundamental frequency in English

Intonation type	Affirmative		Special		General	
F0 [Hz]	min	max	min	max	min	max
Sample 1	92	184	100	330	109	280
Sample 2	90	180	98	280	98	286
Sample 3	100	230	60	235	101	252
Sample 4	105	230	65	232	99	211
Mean value	96.75	206	80.75	268.25	101.75	257.25
Diapason	2.13		3.34		2.53	

Table 4 – Shows the minimum (F0 min) and maximum (F0 max) of fundamental frequency in Russian

Intonation type	Affirmative		Special		General	
F0 [Hz]	min	max	min	max	min	max
Sample 1	80	147	85	154	85	170
Sample 2	78	150	85	155	91	196
Sample 3	81	144	80	155	84	185
Sample 4	82	146	83	157	84	185

Mean value	80.25	146.75	83.25	157.5	86.25	182.25
Diapason	1.83		1.89		2.11	

#### 4 An algorithm of computer system for speech intonation training

Computers were used for language learning since 1960 in the last century. Nowadays, however, the importance of emphasizing intonational aspects of speech while teaching foreign language and while creating computer-based systems for speech analysis and synthesis has the same significance as 50 years ago.

In the United Institute of Informatics Problems NAS Belarus, Minsk under the guidance of B.M. Lobanov were created a Prototype of the Computer System for Speech Intonation Training [Lobanov B., Zhitko V, 2017]. The development such of an intelligent automatic system for the processing of speech signals needs a strict algorithm of intonation analysis in a composition of the computer teaching system of foreign speech [Lobanov B., Zhitko V, Zdaranok Y., 2016].

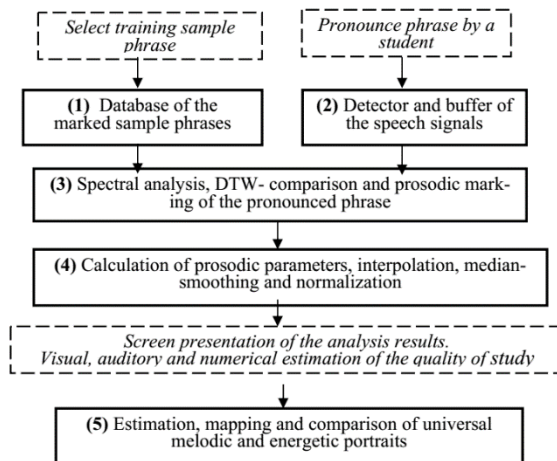


Figure 2 – The block diagram of the computer training system of foreign speech intonation

Figure 2 contains a block diagram illustrating the sequence of algorithms for the analysis and interpretation of speech intonation within the developed computer teaching system. The main goal of the system is to provide a student with a compact and easily interpretable image for the results of analysis of melodic and energy contours of phrases with different into-nation. The system would also provide a visual, auditory and numerical evaluation of the quality of learning of a foreign speech intonation by a student.

The diagram of the computer teaching system of foreign speech intonation Block 1 contains the database of sample phrases with different intonation patterns which is compiled from multimedia textbooks. Every sample phrase has the preliminary placed prosodic marks that include phrase boundaries and placement of its nucleus. Based on a given goal of intonation learning, a student chooses the needed sample phrase, defines it and pronounces it. The pronounced phrase is recorded on the buffer (block 2). In block 3, the signals from the both a sample and pronounced phrases are spectrum analyzed and compared using the method of dynamic time warping (DTW). This is accompanied by a transfer of prosodic marks and labeling of a pronounced phrase. In block 4, prosodic phrase parameters, such as frequency of the basic tone F0 [Lobanov B., Levkovskaya T., 1997] and energy of the signal A0 are calculated. These parameters are further interpolated on the non-vocal areas, median-smoothed and normalized. In block 5, an estimation and comparison of universal melodic and energetic portraits are produced. Figure 3 presents some illustration of system's output for the interrogative phrase: «Did Sasha eat the porridge»? The image shows successive processing F0 (t) and A0 (t) and a comparison of the sample phrase and the student-spoken phrase speech signals.

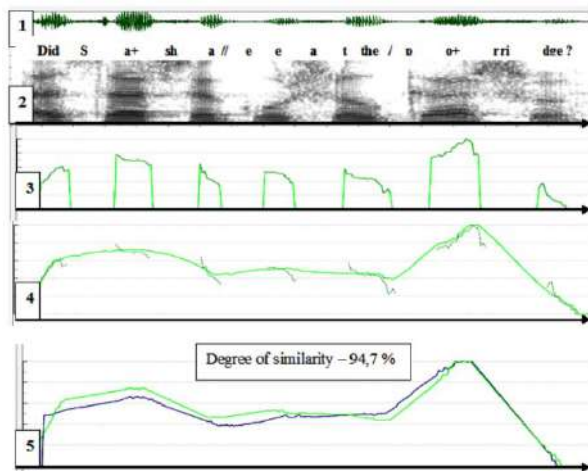


Figure 3 – The illustration of speech signals processing: 1- oscillogram, 2 – spectrum, 3 – F0(t) (original), 4 – F0(t) (after interpolation and median smoothing), 5 – comparison of two melodic curves F0 (t) - sample and spoken phrases

Application of an intonation mapping analyzer as a part of a speech recognition system is expected to increase reliability of recognition through the prominence of accented words and intonational segmentation of a speech flow. Intonation analysis will also be helpful for subsystems of identification of

individual and emotional factors of speaker's speech. The use of intonation system in speech synthesis systems will give an opportunity to improve the intonational prominence of the synthesized speech so that it will positively affect listener's comprehension.

## 5 Conclusion

Practically, to know a foreign language means to generate the skills and develop the ability to think as a native speaker and to understand other people's thoughts. In order to sound right and intelligible to the listener the utterance should be conveyed into the correct intonational pattern. This means that the internal or external performance of speech should be presented with an appropriate dynamic acoustic connotation in accordance to the rules of the target language.

Computer-aided intonation training is specifically designed to evaluate and improve the pronunciation in foreign languages.

Due to computer-aided intonation training system the specific pronunciation mistakes will be identified at the word or subword level, providing an opportunity to improve pronunciation in and outside the classroom according to visual feedback.

There is a great potential on both domestic and international markets for a new and innovative product such as the proposed computer system for intonation training integrated into a foreign language educational courseware. There is no necessary software available for such teaching system and, therefore, such system appears to be of great relevance. In presented work, the linguistic and acoustic resources and the design and the output of the computer-based system for analysis and interpretation of speech intonation were described.

## References

- [Lobanov B., 2006] Language and speaker specific implementation of intonation contours in multilingual TTS synthesis / B. Lobanov [et al.] // *Speech Prosody: proceedings of the 3-rd International conference, Dresden, Germany, May 2–5, 2006. Dresden, 2006. Vol. 2. P. 553–556.*
- [Lobanov B., 2016] Lobanov B. Comparison of Melodic Portraits of English and Russian Dialogic Phrases // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference «Dialogue». Iss. 15 (22). M.: RSHU, 2016. P. 382–392.*
- [Lobanov B., Okut T., 2014] Lobanov B., Okut T. Universal Melodic Portraits of Intonation Patterns of Russian Speech // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference «Dialogue». Iss. 13 (20). M.: RSHU, 2014. P. 330–339.*
- [Ockenden, 2005] Ockenden M. *Situational Dialogues* // The English Centre, Eastbourne; Revised Edition. Longman, 2005.

- [Grimson, 1996] Gimson A.C. Introduction to the Pronunciation of English, London, 1966, p. 261.
- [Bryzgunova, 1982] Bryzgunova E. Intonation // Russian grammar // Science. M., 1982. P. 96–122.
- [Lobanov B., Zhitko V., 2017] Lobanov B. A Prototype of the Computer System for Speech Intonation Training / B.M. Lobanov, V.A. Zhitko // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems : Papers from the Annual International Conference. Vol.1 (Minsk, 16-18 February 2017). / edited by. : V. V. Golenkov. — Minsk : BSUIR, 2017. — P. 163-166.
- [Lobanov B., Zhitko V, Zdaranok Y., 2016] Lobanov, B.M. Computer-based System of Analysis and Interpretation of Speech Intonation / B.M. Lobanov, V.A. Zhitko, Y.A. Zdaranok // International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies / BSU ; edited by. S.V. Ablameiko. — Minsk : BSU, 2016. — P. 589-594.
- [Lobanov B., Levkovskaya T., 1997] Boris Lobanov, Tatiana Levkovskaya (1997). “Continuous Speech Recognizer for Aircraft Application “Proc. of International Conference - Speech and Computer - SPECOM’97, Napoca, Romania, pp. 817-820.

## **ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЧЕВОЙ ИНТОНАЦИИ**

Здаранок Ю.А. ([yuliyazdaranok@gmail.com](mailto:yuliyazdaranok@gmail.com))  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассматриваются супraseгментарные параметры, такие как интонация, стресс и речевой ритм. Правильная артикуляция звуков и правильное произношение на целевом языке зависят от просодических структур, представленных стандартными образцами интонации. Лингвистические и акустические ресурсы служат основой для обучения интонации с помощью компьютера в классе и вне его. Существует огромная потребность в новых и инновационных программах для автоматизации. Но для такой системы обучения нет необходимого программного обеспечения, и поэтому такая система, по-видимому, имеет большое значение. Представленная работа описывает также алгоритм проектирования компьютерной системы для анализа и интерпретации речевой интонации.

**Ключевые слова:** супraseгментарные параметры, интонация, произношение, лингвистические и акустические ресурсы, обучение компьютерному произношению.



УДК 004.89

## МЕТОД НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Гаврилюк Е.А. (*eugene\_gavr@mail.ru*)  
ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», Нижний  
Новгород

Манцеров С.А. (*mca\_9@nntu.nnov.ru*)  
Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

В работе описывается метод управления техническим состоянием промышленного оборудования на основе систематизации разнородных данных с помощью математического аппарата нечетких множеств.

**Ключевые слова:** нечеткое управление, нечеткая система поддержки принятия решений, индекс технического состояния.

### 1 Введение

Эффективность управления напрямую зависит от качества методов обработки и систематизации входных данных и от количества этих данных. В связи с постоянно возрастающими объемами исходной информации, для поддержания конкурентной борьбы промышленные предприятия вынуждены внедрять информационные системы управления (ИСУ) и системы поддержки принятия решений (СППР). В этом ракурсе научный интерес вызывают методы обработки и систематизации информации.

Под управлением техническим состоянием (ТС) оборудования понимают любые действия, направленные на поддержание или улучшение ТС оборудования. В числе этих действий как их непосредственное проведение (техническое обслуживание, диагностирование, наладка, ремонт и пр.), так и управление ресурсами предприятия для проведения этих действий. Таким образом, управление ТС оборудования – понятие более широкое (но схожее), нежели управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР).

В связи с современной тенденцией развития методов ТОиР оборудования (рис. 1) для принятия управленческих решений приходится проводить анализ информации о текущем ТС оборудования, которая представляет собой набор разнотипной информации (статистическая, экспертная, диагностическая и пр.). Соответственно, возникает актуальная задача разработки метода и алгоритма систематизации этой информации и реализации на их основе ИСУ ТС.



## 2 Методы

Алгоритм управления ТС оборудования был представлен в [Гаврилюк и др., 2014а] для удобства приведём его на рисунке 2.

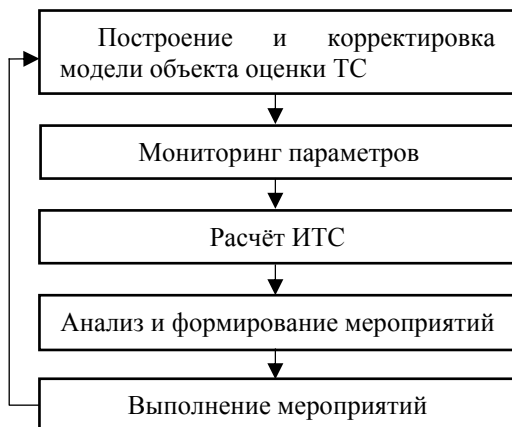


Рисунок 2 – Алгоритм управления ТС оборудования

В качестве базового метода моделирования применяется декомпозиция с использованием иерархий, то есть оценка ТС основывается на системе

показателей, конфигурация которой связана со структурой оборудования. Каждая система (комплекс оборудования) рассматривается как набор элементов, не связанных между собой. Вся система разбивается на подсистемы, подсистемы – на элементы. Для каждого элемента определяются параметры (свойства), которые являются значимыми для производственного процесса. Эти параметры необходимо контролировать в течение производственного процесса, и значения именно этих параметров влияют на принятие управленческих решений.

Количественной оценкой ТС оборудования является безразмерная числовая величина, которая называется Индексом Технического Состояния (ИТС) [Гаврилюк и др., 2014a, b], [Гаврилюк и др., 2015]. Величина ИТС характеризует состояние объекта с точки зрения соответствия его параметров нормативным (номинальным) значениям. Представим пояснение ИТС в терминах теории нечётких множеств.

Допустим, что техническое состояние объекта характеризуется одним параметром  $x$ , тогда в ракурсе теории множеств можем записать:

$$x \in E,$$

где  $E$  – множество значений данного параметра.

Если, например, параметр  $x$  может принимать любые неотрицательные значения, тогда:

$$E = R^+,$$

где  $R^+$  – множество неотрицательных действительных чисел, и, соответственно:

$$x \in R^+.$$

Если  $E$  – множество всех возможных значений параметра, то оно непременно содержит некоторое подмножество требуемых (допустимых) значений параметра; обозначив это подмножество как  $A$ , получим:

$$A \subset E.$$

Если элемент  $x$  множества  $E$  есть элемент подмножества  $A$ , (другими словами, значение параметра  $x$  находится в требуемом (допустимом) диапазоне значений), то:

$$x \in A.$$

Для выражения этой принадлежности в теории множеств используют понятие – характеристическую функцию  $\mu_A(x)$ , значение которой указывают, является (да или нет)  $x$  элементом  $A$ :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in A, \\ 0, & \text{если } x \notin A. \end{cases}$$

В производственном применении характеристическая функция указывает, удовлетворяет ли данный технический параметр элемента требуемым значениям. То есть ИТС – это безразмерная оценка, её зависимость от конкретных значений параметра показывает

характеристическая функция. На рисунке 3 представлено графическое пояснение вышесказанному.

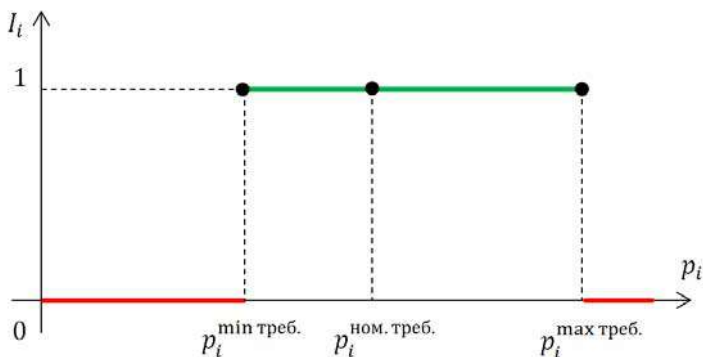


Рисунок 3 – Графическое пояснение ИТС

На рисунке 3 применены следующие обозначения:

$I_i$  – ИТС  $i$ -го параметра,  $p_i$  – значение  $i$ -го параметра,  $p_i^{\min \text{ треб.}}$ ,  $p_i^{\text{ном. треб.}}$ ,  $p_i^{\max \text{ треб.}}$  – соответственно минимальное, номинальное и максимальное требуемые (допустимые) значения.

Однако, на практике граница между допустимыми и недопустимыми значениями параметра может не иметь чёткого характера, поэтому решение задачи оценки ТС объекта рационально рассмотреть в ракурсе теории нечётких множеств. Тогда характеристическая функция может принимать любое значение в интервале  $[0;1]$ . В соответствии с этим элемент  $x_i$  множества **Е** может принадлежать **А** в определённой степени  $\mu_A$ . Тогда, в соответствии с определением нечёткого множества [Кофман, 1982], нечёткое подмножество требуемых (допустимых) значений  $\tilde{A}$  множества всех возможных значений параметра объекта **Е** определяется как множество упорядоченных пар

$$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}, \forall x \in \mathbf{E},$$

где  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  – характеристическая функция принадлежности, принимающая свои значения во множестве **М**, которая указывает степень или уровень принадлежности текущего значения параметра  $x$  (элемента  $x$ ) требуемому (допустимому) значению (подмножеству  $\tilde{A}$ ). Множество **М** называется множеством принадлежностей. Если  $\mathbf{M} = \{0; 1\}$ , то нечёткое подмножество  $\tilde{A}$  будет рассматриваться как обычное.

Таким образом, согласно [Кофман, 1982], с помощью понятия нечёткого подмножества можно изучать нестрогие определённые понятия (такое как ТС объекта), используя математические структуры. Тогда

оценка ТС объекта будет принимать свои значения во множестве  $\mathbf{M} = [0; 1]$  посредством определённой характеристической функции, выбор которой зависит от конкретного технического параметра. Приведём примеры на рисунках 4-6.

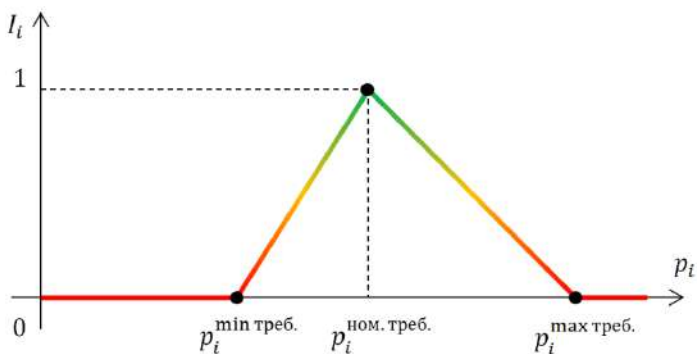


Рисунок 4 – Пример характеристической функции ИТС

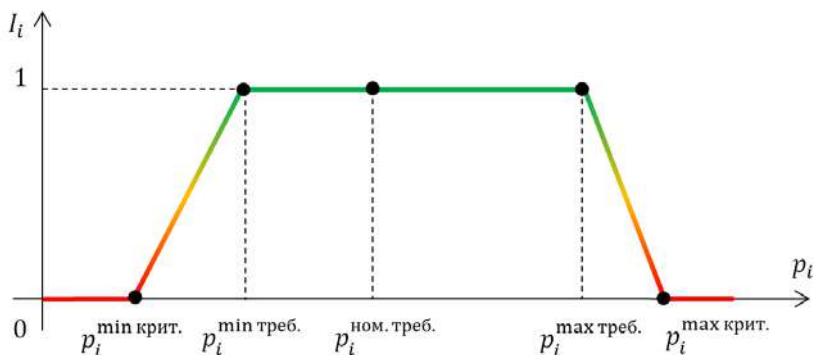


Рисунок 5 – Пример характеристической функции ИТС

На рисунке 4 и 5 применены следующие обозначения:

$I_i$  – ИТС  $i$ -го параметра,  $p_i$  – значение  $i$ -го параметра,  $p_i^{\min \text{ треб.}}$ ,  $p_i^{\text{ном. треб.}}$ ,  $p_i^{\max \text{ треб.}}$  – соответственно минимальное, номинальное и максимальное требуемые (допустимые) значения,  $p_i^{\min \text{ крит.}}$ ,  $p_i^{\max \text{ крит.}}$  – соответственно минимальное и максимальное критические значения.

ТС объекта  $A$  в терминах теории нечётких множеств можно описать следующим образом:

$$\tilde{A} = \begin{array}{c} x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n \\ \hline \mu_{\tilde{A}}^{(1)}(x_1) \quad \mu_{\tilde{A}}^{(2)}(x_2) \quad \dots \quad \mu_{\tilde{A}}^{(n)}(x_n) \end{array}$$

где  $x_i$  – параметры оценки технического состояния объекта  $A$ ,  $n$  – число параметров,  $\mu_A^{(i)}(x_i)$  – характеристические функции (своя для каждого параметра), где верхний индекс  $(i)$  указывает на то, что характеристические функции разные. С практической точки зрения, необходимость использования при описании ТС объекта не одной характеристической функции, а нескольких (для каждого параметра своей) объясняется довольно просто: каждый параметр может иметь различные единицы измерения (или быть безразмерной величиной), различные требуемые (допустимые для эксплуатации) значения, диапазон возможных значений и пр., но каждый из этих параметров характеризует состояние объекта и должен быть учтён.

Таким образом, множество  $\tilde{A}$  является множеством текущих значений параметров объекта и, соответственно, характеризует текущее ТС объекта.

Если ТС объекта идеально по всем параметрам, то его состояние можно описать следующим образом:

	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$	
$\tilde{A}$	1	1	...	1	$\bar{A}^{\text{ном.}}$

То есть, идеальное состояние объекта можно описать в виде чёткого множества  $\bar{A}^{\text{ном.}}$ , элементами которого являются  $n$  единиц.

Для определения обобщённого ТС объекта используем две оценки – относительное линейное расстояние (расстояние Хемминга) и относительное квадратичное расстояние (Евклидово расстояние) между множеством  $\tilde{A}$  и множеством  $\bar{A}^{\text{ном.}}$ . Как известно, эти два понятия дают две оценки расстояния между нечёткими множествами.

Относительное линейное расстояние между вышеуказанными множествами определяется по формуле:

$$\delta(\tilde{A}, \bar{A}^{\text{ном.}}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{\bar{A}^{\text{ном.}}}^{(i)}(x_i) - \mu_A^{(i)}(x_i)| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu_A^{(i)}(x_i)) \quad (1)$$

Формулу (1) можно преобразовать:

$$\delta(\tilde{A}, \bar{A}^{\text{ном.}}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_A^{(i)}(x_i))}{n} = 1 - \mu_A^{\text{ср.арифм.}}(x_i),$$

где  $\mu_A^{\text{ср.арифм.}}(x_i)$  – среднее арифметическое всех значений  $\mu_A^{(i)}(x_i)$ .

Относительное квадратичное расстояние между вышеуказанными множествами определяется по формуле:

$$\varepsilon(\tilde{A}, \bar{A}^{\text{ном.}}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_{\bar{A}^{\text{ном.}}}(x_i) - \mu_{\tilde{A}}^{(i)}(x_i))^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}}^{(i)}(x_i))^2}$$

Оба относительных расстояния удовлетворяют условиям:

$$0 \leq \delta(\tilde{A}, \bar{A}^{\text{ном.}}) \leq 1,$$

$$0 \leq \varepsilon(\tilde{A}, \bar{A}^{\text{ном.}}) \leq 1$$

Таким образом, с помощью относительных расстояний  $\delta(\tilde{A}^{\text{тек.}}, \bar{A}^{\text{ном.}})$  и  $\varepsilon(\tilde{A}^{\text{тек.}}, \bar{A}^{\text{ном.}})$  можно не только оценить общее состояние объекта, но и сравнить объекты между собой.

Рассмотрим пример. Пусть

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$\tilde{A}_1^{\text{тек.}}$	0,5	0,5	0,5
и			
$\tilde{A}_2^{\text{тек.}}$	0,1	0,5	0,9

Имеем  $\delta(\tilde{A}_1^{\text{тек.}}, \bar{A}_1^{\text{ном.}}) = \frac{0,5+0,5+0,5}{3} = 0,5$ ;  $\delta(\tilde{A}_2^{\text{тек.}}, \bar{A}_2^{\text{ном.}}) = \frac{0,1+0,5+0,9}{3} = 0,5$ ;

Как видно, оценка по линейным расстояниям не отражает различия в техническом состоянии объектов. Однако, с точки зрения теории надёжности, техническое состояние второго объекта хуже, так как ИТС по параметру  $x_1$ , равный 0,1, отражает «слабое место» объекта, то есть вероятность возникновения отказа в данном случае наивысшая. Рассчитаем квадратичные расстояния.

$$\varepsilon(\tilde{A}_1^{\text{тек.}}, \bar{A}_1^{\text{ном.}}) = \sqrt{\frac{(1-0,5)^2 + (1-0,5)^2 + (1-0,5)^2}{3}} = 0,5,$$

$$\varepsilon(\tilde{A}_2^{\text{тек.}}, \bar{A}_2^{\text{ном.}}) = \sqrt{\frac{(1-0,1)^2 + (1-0,5)^2 + (1-0,9)^2}{3}} \approx 0,6.$$

Данный пример хорошо демонстрирует применение квадратичного расстояния в качестве дополнительной оценки ТС объекта.

С использованием теории нечётких множеств, ИТС принимает более обобщённый характер, что делает его универсальным показателем. Расчёт ИТС системы, состоящей из множества элементов, предполагает транслирование описанного метода вплоть до верхнего уровня.

### 3 Результаты

Вышеописанный метод был реализован в качестве пилотного проекта ИСУ ТС оборудования в ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». ИСУ была реализована на базе Microsoft Visual Studio. На рисунках 6-8

показаны примеры выходной информации, которую получает руководитель, принимающий решение.

На рисунке 6 представлен пример оценки ТС системы автоматического управления газоперекачивающим агрегатом (САУ ГПА), где отражены составляющие ИТС (ИТС подсистем) и общий ИТС САУ ГПА. Цветовая индикация сигнализирует о наиболее «уязвимых местах» САУ ГПА. Как видно из рисунка 6, наименьший ИТС имеют блоки питания. Если спуститься на уровень ниже (рисунок 7), то можно наблюдать, какие именно элементы (блоки питания) имеют наихудшее ТС. Следующий шаг позволяет увидеть, по каким именно параметрам блок питания не удовлетворяет требуемым значениям (рисунок 8).

Диагностическая карта объекта		
Данные об объекте		
	Филиал	Владимирское
	Производственный блок (КС, АГНКС)	КС
КС	Наименование КС	КС Вязники
	Номер цеха	1
	Вид системы автоматизации (САУ ГПА, САУ КП, СУМП и т.д.)	САУ ГПА
	Номер ГПА	1
	Наименование САУ (МСКУ-5000, КТМ-1С и т.д.)	А705-15-09М
Индекс технического состояния	Индекс технического состояния системы	0.65
	программного обеспечения системы	1.00
	блоков питания	0.40
	модулей контроллера	0.86
	устройств предоставления информации и управления	0.56
	преобразователей	0.85
	внутренних линий связи	0.50
	датчиков температуры	0.72
	датчиков давления	0.53
	датчиков уровня	0.43
	соединительных коробок	0.52
	кабельных линий	0.57
	средств сигнализации	0.63
	исполнительных механизмов	0.77
	концевых выключателей	0.79

Рисунок 6 – Скриншот ИСУ ТС оборудования

№ п/п	Оборудование		Индекс
	Заводской номер	Блоки питания (наименование)	
1	x	ГР 045	0.60
2	x	ГР 045	0.60
3	x	БА.07-045М	0.40
4	x	БА.07-045М	0.50
5	x	БА.07-045М	0.50
6	x	БА.07-046М	0.20
7	x	БА.07-046М	0.20
8	x	БА.07-046М	0.30
9	x	БА.07-046М	0.30
10	x	БА.07-046М	0.40
11	x	БА.07-046М	0.40
12	x	БА.07-046М	0.40

Рисунок 7 – Скриншот ИСУ ТС оборудования



Параметр	Требуемое минимальное значение	Требуемое максимальное значение	Текущая значение	ИТС
Выходное напряжение, В	26,5	27,5	26,8	0
Напряжение тока дросселя, мВ	–	500	520	0
Срок эксплуатации, лет	–	10	14	0
Качество монтажа и внешний вид	–	–	без замечаний	1
Состояние индикации	–	–	без замечаний	1
...	...	...	...	...

Рисунок 8 – Скриншот ИСУ ТС оборудования

В конечном счёте, исходная информация по каждому элементу иерархически интегрируется в информацию самого высокого уровня (ИТС всего комплекса рассматриваемого оборудования) в соответствии с построенной моделью объекта оценки ТС. Руководитель подразделения, используя ИСУ, основанную на представленном методе, в полной мере владеет всей «картиной» ТС подконтрольного оборудования, а также имеет в своих руках мощный инструмент, который позволяет при необходимости спускаться на самый нижний уровень и наблюдать какой объект является наиболее «уязвимым» в целом комплексе оборудования и по каким параметрам он не удовлетворяет требуемым значениям. Соответственно, такой подход позволит формировать корректирующие мероприятия на более качественном уровне.

## 4 Заключение

Аппарат нечётких множеств может быть эффективным инструментом для систематизации информации и управления. Это крепкий фундамент для создания нечетких СППР и ИСУ.

ИСУ ТС оборудования на основе ИТС обеспечивает получение систематизированной информации о состоянии оборудования, уровень этой систематизации зависит от требований пользователя. ИСУ позволяет проводить согласованную работу, принимать качественные управленческие решения, что, в конечном счёте, обеспечивает взаимосвязь между производственным уровнем и уровнем управления, а также повышает уровень производственной культуры предприятия в целом.

## Список литературы

[Гаврилюк и др., 2014а] Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А., Синичкин С.Г. Комплексная оценка технического состояния систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами // Фундаментальные

исследования. – М.: Издательский Дом «Академия Естествознания». 2014. № 11. – с. 2141-2145.

[Гаврилюк и др., 2014b] Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А., Синичкин С.Г. Методика оценки технического состояния систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: НГТУ, 2014. № 5 (107), специальный выпуск. с. 191-194.

[Гаврилюк и др., 2015] Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А., Панов А.Ю. Прогнозирование отказов систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами на основе индекса технического состояния и степени риска // Фундаментальные исследования. – М.: Издательский Дом «Академия Естествознания». 2015. № 7 (часть 2). с. 309-313.

[Кофман, 1982] Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с., ил.

## **FUZZY MANAGEMENT METHOD OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT TECHNICAL CONDITION**

Gavrilyuk E.A. (*eugene\_gavr@mail.ru*)

Gazprom transgaz Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod

Mantserov S.A. (*mca\_9@nntu.nnov.ru*)

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.

Alekseev, Nizhny Novgorod

The paper describes the management method of industrial equipment technical condition based on heterogeneous data systematization using a mathematical apparatus of fuzzy sets.

**Keywords:** fuzzy management, fuzzy decision support system, technical state index

## ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫЙ УЗЕЛ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВРЕДНОСНЫХ СОБЫТИЙ

Ткаченко К.С. (*kstkachenko@sevsu.ru*)  
Севастопольский государственный университет,  
Севастополь

В публикации рассматривается аналитическая модель системы массового обслуживания для высоконагруженного узла распределенной среды. Нагрузка создается вредоносными воздействиями. Описывается подход оценки функционирования узла в таких условиях. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

**Ключевые слова:** вирусные атаки, вычислительные узлы, распределенные среды, нестационарный поток.

### 1 Введение

Невозможно представить сложную систему в технике и науке, которая сегодня не основана на распределенных средах (РС). Широкое и активное применение РС позволило достичь небывалых высот производительности обработки вычислительных заданий и информационного обмена. Обратной стороной стало повальное распространение вредоносных и вирусных атак для выведения систем из строя, захвата данных и другого.

Такие атаки обозначаются В-событиями. В-событие всегда изменяет выходные параметры узла РС. Значительно возрастает загрузка узла, намечается его уход из стационарного режима работы. Нужен способ для поиска момента наступления В-события и предотвращения его последствий. Если работать только с узлом и игнорировать в режиме мониторинга его системное окружение, то можно судить лишь о гипотезах о В-событиях во входном трафике.

Целью настоящей публикации является разработка аналитического подхода по оценке эффективности срабатывания систем узлового мониторинга на основе принципов теории массового обслуживания.

## **2 Известные примеры описания функционирования работы узлов под высокой нагрузкой**

Построение неблокируемых сетевых архитектур возможно при использовании специальных протоколов второго уровня модели OSI [Багинян и др., 2017]. Это возможно на избыточных сетевых архитектурах и топологиях при многоканальной передаче данных.

Результаты моделирования перегруженных систем сильно зависят от генераторов псевдослучайных чисел [Алиев, 2013]. Если один из генераторов описывает характеристики входного потока заявок, а другой – его обработку, то существуют такие их сочетания, которые моделируют с большой относительной погрешностью.

Качество работы стратегий обмена данными зависит от применяемых методов доставки навигационных данных [Капилевич и др., 2014]. В зависимости от загрузки в разных ситуациях можно использовать получение от сервера полной информации, усеченного варианта, а также, наоборот, отправлять сервером сообщения асинхронно.

Подбору распределения вероятностей приоритетов обслуживания процессов посвящена работа [Пророк и др., 2013]. Прогнозирование на основе подгона распределений обеспечивает оценивание интервалов времен обработки заданий.

Узловой мониторинг в некоторых случаях может быть сведен к его функциональной аппроксимации [Скатков и др., 2016]. На этой базе строятся аналитические подходы балансировки нагрузки в среде.

Видно, что решение задачи о моделировании высоконагруженного узла отсутствует в полной мере и несет большую практическую ценность.

## **3 Аналитическое моделирование и вычислительные эксперименты**

В подавляющем большинстве случаев практического характера наиболее полную, исчерпывающую и точную информацию об узловом моделировании несет модель системы массового обслуживания (СМО)  $G/G1/K/N$ , с  $K$  каналами,  $N$  – максимальной емкостью буфера,  $G$  законом входного потока,  $G1$  законом обработки заявок. Но точная разработка аналитических соотношений для  $G/G1/K/N$  требует решения в том числе интегральных уравнений, что затруднено на практике в режиме реального времени. Тогда можно обрезать модель до  $M/M/K/N$  с простейшим входным потоком и экспоненциальным временем обслуживания, либо до  $M/G/1$ , с бесконечной очередью и неэкспоненциальным временем задержки.

Поскольку канал в узле, скорее всего, один, то можно счет вести по более упрощенным выражениям, характерным для  $M/M/1/N$  [Ткаченко и

др., 2017]. Если заданы интенсивность входного потока заявок  $\lambda \text{ с}^{-1}$ , производительность обработки  $\mu \text{ с}^{-1}$ , то можно рассчитать вероятности  $p_0$  – простая,  $p_1$  – занятого канала,  $p_2$  – занятого канала и одной заявки в буфере, ...,  $p_{N+1}$  – отказа в обслуживании.

Для исследования вектор вероятностей  $\langle p \rangle$  трудно применим. Вследствие того, что речь идет о высокой узловой загрузке, то для лица, принимающего решения (ЛПР), большую роль сыграют частичные суммы компонент вектора  $\langle p \rangle$ . Обозначается  $\Sigma p_k = \sum_{q=1}^k p_q$ . По характеру изменения  $\Sigma p_k$  можно судить о свойствах узла под нагрузкой. Пример расчета для  $N=140$  (СМО М/М/1/140) приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Счет для  $N=140$

$\rho$	$p_0$	$\Sigma 20$	$\Sigma 40$	$\Sigma 60$	$\Sigma 80$	$\Sigma 100$	$\Sigma 120$	$\Sigma 140$
0,900	0,100	0,791	0,887	0,898	0,900	0,900	0,900	0,900
0,905	0,095	0,782	0,888	0,903	0,905	0,905	0,905	0,905
0,910	0,090	0,772	0,889	0,907	0,910	0,910	0,910	0,910
0,915	0,085	0,760	0,889	0,911	0,914	0,915	0,915	0,915
0,920	0,080	0,746	0,887	0,914	0,919	0,920	0,920	0,920
0,925	0,075	0,730	0,884	0,916	0,923	0,925	0,925	0,925
0,930	0,070	0,712	0,879	0,918	0,927	0,929	0,930	0,930
0,935	0,065	0,691	0,871	0,918	0,931	0,934	0,935	0,935
0,940	0,060	0,667	0,861	0,917	0,933	0,938	0,940	0,940
0,945	0,055	0,640	0,847	0,914	0,935	0,942	0,944	0,945
0,950	0,050	0,610	0,828	0,907	0,935	0,945	0,949	0,950
0,955	0,045	0,576	0,805	0,896	0,932	0,947	0,953	0,955
0,960	0,040	0,537	0,775	0,880	0,926	0,947	0,956	0,960
0,965	0,035	0,495	0,738	0,857	0,915	0,944	0,958	0,965
0,970	0,030	0,448	0,692	0,825	0,897	0,936	0,958	0,969
0,975	0,026	0,398	0,638	0,783	0,870	0,923	0,954	0,974
0,980	0,021	0,345	0,576	0,730	0,833	0,901	0,947	0,978
0,985	0,017	0,291	0,506	0,665	0,783	0,869	0,934	0,981
0,990	0,013	0,237	0,431	0,590	0,720	0,826	0,913	0,984

0,995	0,010	0,186	0,355	0,508	0,645	0,770	0,883	0,985
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Анализ данных в таблице 1 демонстрирует насыщение сумм компонент вектора вероятностей с ростом загрузки  $\rho$  и индекса  $q$  (для числа заявок в очереди), с учетом величины  $\rho_0$ . Это хорошо видно на графике, рисунок 1.

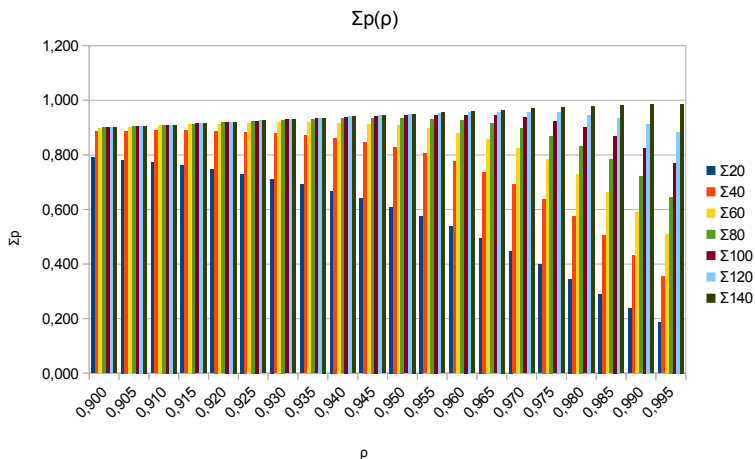


Рисунок 1 – Визуализация счета для  $N=140$

Рисунок 1 также показывает крен вероятностей состояний с большими номерами при росте загрузки.

## 4 Заключение

Полученный способ аналитической оценки позволяет выполнять наглядную оценку характеристик узла при высокой загрузке и стационарном характере входного трафика. Например, для построения на его основе систем поддержки принятия решений.

## Список литературы

- [Багинян и др., 2017] Багинян А. Балансировка трафика в высоконагруженных системах с помощью протокола Trill / А.Багинян, А.Долбилов, И.Кашунин, В.Кореньков // Т-Comm. 2017. №4. С.14–19.
- [Алиев, 2013] Алиев Т.И. Погрешности моделирования высоконагруженных систем в GPSS World / Т.И.Алиев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. №1 (83). С.70–75.
- [Капилевич и др., 2014] Капилевич В.Л. Комбинированный алгоритм для отображения навигационных данных в высоконагруженных Web-

- ориентированных пассажирских информационных системах / В.Л.Капилевич, Д.М.Сонькин, А.О.Игумнов // Доклады ТУСУР. 2014. №4 (34). С.165–170.
- [Пророк и др., 2013] Пророк В.Я. Методика расчета требуемой производительности вычислительных элементов в высоконагруженных многопроцессорных вычислительных системах / В.Я.Пророк, А.М.Зыков, А.А.Карытко // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2013. №1. С.46–51.
- [Скатков и др., 2016] Скатков А.В. Функционально-ориентированная узловая аппроксимация задачи мониторинга распределенных сред / А.В.Скатков, К.С.Ткаченко, А.А.Брюховецкий, Д.Ю.Воронин // Системы контроля окружающей среды, № 4(24). Севастополь, ИПТС: 2016. С. 42–48.
- [Ткаченко и др., 2017] Ткаченко К.С. Менеджмент узла с отказами и восстановлением распределенной среды / К.С.Ткаченко, И.А.Скатков // Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента: Материалы I Междисциплинарной Всероссийской научно-практической конференции, г. Севастополь, 4–5 мая 2017 г. [Электронный ресурс]. Севастополь: СевГУ, 2017 г. 765 с. ISBN 978-5-9907603-9-4 С.606–610.

## HIGHLY LOADED NODE IN THE DISTRIBUTED ENVIRONMENT UNDER THE INFLUENCE OF AN MALICIOUS EVENTS

Tkachenko K.S. (*kstkachenko@sevsu.ru*)  
Sevastopol State University, Sevastopol

This publication describes the analytical model of a queuing system for high loaded node of the distributed environment. The load is created by malicious effects. Describes the approach of assessing the operation of a node in such conditions. The results of computational experiments given.

**Keywords:** viral attacks, computing nodes, distributed environments, nonstationary flow.

## **ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОБНАРУЖЕНИЕ ВРЕДОНОСНОЙ АКТИВНОСТИ В «ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ»**

Гольчевский Ю.В. (*yurag@syktsu.ru*)  
Филимонова Н.А. (*nathalie.filimonova@gmail.com*)  
Сыктывкарский государственный университет  
имени Питирима Сорокина, Сыктывкар

В работе исследуются вопросы, связанные с некоторыми особенностями функционирования устройств Интернета вещей и обеспечения информационной безопасности. Предлагается способ организации мониторинга и противодействия вредоносной активности.

**Ключевые слова:** Интернет вещей, вредоносная активность, конечные устройства.

### **1 Введение**

По данным Cisco Consulting Services за 2014 год число подключенных к Интернету вещей (Internet of Things, далее IoT) объектов выросло с 10,7 до 13,7 млрд. По прогнозам к концу 2017 года промышленных подключений станет больше, чем потребительских, при этом их суммарное количество может достигнуть 50 миллиардов [CISCO, 2014]. В последние годы совокупный годовой прирост выручки в IoT в несколько раз превышает темпы роста других направлений ИТ-рынка. Это, а также другие аналитические данные, дали основание считать, что IoT обгоняет большие данные, становясь самой перспективной технологией [Press, 2014]. Это же подтверждают и опросы ИТ-специалистов, которые, кроме того, считают, что ключевыми современными тенденциями в развитии информационных технологий являются информационная безопасность и рост трафика данных [CISCO, 2017].

Ранее мы уже говорили о некоторых проблемах кибербезопасности в сети Интернет [Гольчевский, 2013]. Конечно, возможности, предоставляемые IoT, не остались без внимания киберпреступников.



Умные вещи не только повышают качество жизни, но и становятся источниками угроз приватности и общественной безопасности. В качестве примера можно привести атаки на банковскую систему Российской Федерации в декабре 2016 года при помощи ботнета, состоящего из устройств, зараженных Mirai [Ростелеком, 2016] и мощнейшую DDoS-атаку с пиковой мощностью 665 Гб/с на сайт журналиста Брайана Кребса, осуществленную с помощью ботнета из IoT-устройств [Securitylab, 2016].

Сложность подключаемых к сети устройств и их количество растут гигантскими темпами. Значительные планы по внедрению умных вещей в различные сферы жизни бизнесом и государством, а также возникающие при этом угрозы обуславливают актуальность вопросов, связанных с обеспечением безопасности работы IoT.

Суть представленной работы заключается в изучении некоторых аспектов функционирования и безопасности «вещей» и предложении подходов к обнаружению попыток заражения вредоносным программным обеспечением (ВПО) и противодействия ему.

## **2 Концепция IoT и его особенности в области обеспечения безопасности функционирования**

### **2.1 Общие аспекты концепции IoT**

Впервые термин «Интернет вещей» был сформулирован в 1999 году. Сегодня не существует единого подхода к определению этого термина. Различные компании предлагают свои варианты. Наиболее подходящим здесь можно считать определение, согласно которому IoT – это концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [Gartner].

В настоящее время наблюдается значительный рост числа подключений узкоспециализированных устройств, используемых как потребительским сектором, содержащим решения, ориентированные на нужды конкретного человека, так и индустриальным сектором, предлагающим решения, направленные на удовлетворение потребностей бизнеса. В данной работе сконцентрируемся именно на таких устройствах, так как остро стоит вопрос об их надежности и безопасности.

Хотя, в отношении каждого сегмента можно говорить лишь о большей или меньшей принадлежности к одному из секторов. Графически это можно представить в виде размещения сегментов вдоль шкалы «Потребительский сектор – Индустриальный сектор» (см. рисунок 1).

При этом стоит выделить, что такие устройства делятся на одноцелевые (узконаправленные) и многофункциональные. Значительную часть IoT составляют узкоспециализированные устройства с

ограниченными ресурсами, к которым могут применяться дополнительные требования по энергопотреблению и надежности.

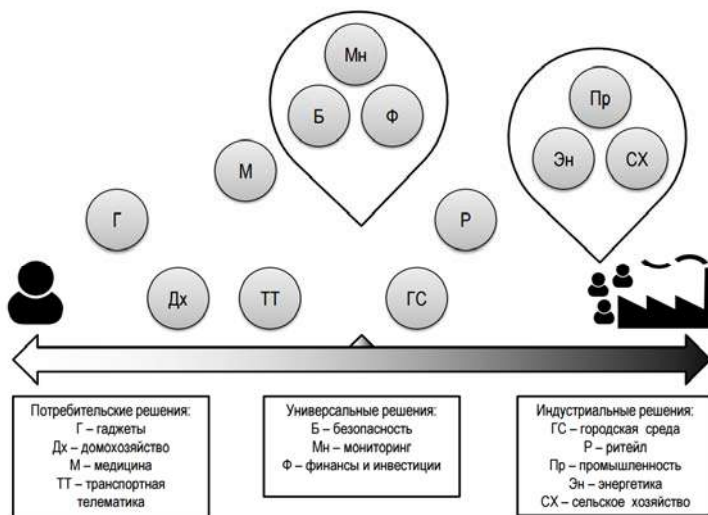


Рисунок 1 – Ориентация сегментов рынка IoT относительно потребительского и индустриального секторов

## 2.2 Особенности эксплуатации и угроз

Одна из важнейших особенностей IoT – возможность непосредственно взаимодействовать с окружающей средой и воздействовать на нее.

IoT является гетерогенной системой со сложной топологией, соединяющей в себе различные старые и новые технологии. Условия и ситуации, в которых функционируют «вещи» в IoT, сильно отличаются, причем не только в зависимости от принадлежности к одному из сегментов, но и секторов. Даже внутри одного сегмента цели использования одних и тех же вещей могут быть различными, что проявляется в разнице требований к безопасности устройств и систем.

Также весьма важным отличием является то, что безопасность IoT становится комплексным понятием, которое включает не только традиционную информационную безопасность (security), но также и функциональную безопасность (safety), отвечающую за надежное функционирование целой системы и отдельных составляющих ее устройств. То есть в защите нуждается и само устройство. При этом между функциональной и информационной безопасностью могут

возникать серьезные противоречия, один из примеров которых приведен в работе [Скляр, 2016].

Благодаря возможности воздействовать на окружающую среду IoT стал источником новых критически опасных угроз. Любое воздействие на информацию в такой системе может повлечь за собой нанесение материального ущерба, причинение ущерба здоровью человека и даже потерю человеческой жизни.

Для конечных устройств, питаемых от аккумулятора, опасность несут атаки на истощение энергоресурсов, значительно уменьшающие время их работы за счет повышенного энергопотребления.

Многие «вещи», не предполагавшие подключения к сетям, стали частью IoT после некоторой доработки. Изначально разработанные небезопасными конечные устройства могут содержать критические уязвимости и обладать ограниченностью механизмов обновлений для их устранения. Жизненный цикл решений потребительского сектора значительно короче, чем в индустриальном. Производители максимально сосредотачивают усилия на внедрении нового функционала, пытаясь при этом сохранить минимальную стоимость, часто в ущерб безопасности. Это ведет к тому, что такие устаревшие, но используемые устройства остаются без обновлений и поддержки производителей.

Для потребительского сектора также характерна проблема меньшей избирательности разработчиков. На рынке присутствуют менее опытные разработчики, что делает продукты этого сектора потенциально более уязвимыми. Также появляются возможности для злонамеренных разработчиков, которые умышленно встраивают уязвимости для их дальнейшего использования.

Разработка на основе открытого программного обеспечения и использование открытых библиотек приводят к системной однородности, что ведет к увеличению тяжести влияния ВПО и активности использования выявленных уязвимостей.

С учетом указанных особенностей, увеличивающих возможность внедрения ВПО в элементы IoT, рассмотрим подробнее такую угрозу. Ее описание приведено на рисунке 2. В качестве объекта воздействия рассматриваем конечное устройство в составе сети или некоторой системы.

Способ реализации описываемой угрозы можно изучить на примере ELF\_PERSIRAI.A, заражающего IP-камеры [Trend Micro, 2017], а этапы заражения во многом похожи на этапы целенаправленной атаки [Петров, 2014]: эксплуатация уязвимости, загрузка вредоносного кода, связь с сервером управления, дальнейшее распространение атаки, передача конфиденциальной информации.

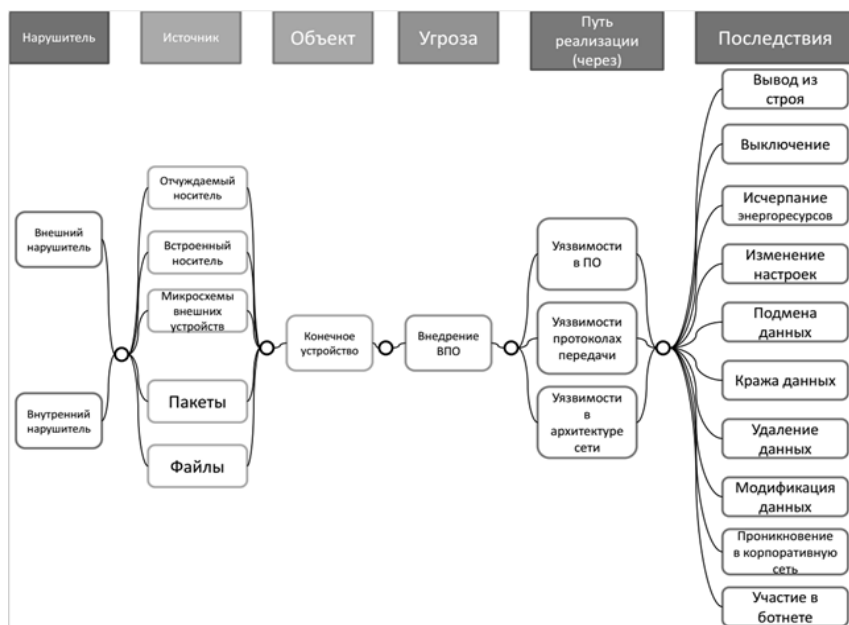


Рисунок 2 – Описание угрозы «внедрение ВПО на конечное устройство»

### 2.3 Особенности обеспечения безопасности

Распределенная структура IoT изменяет подходы к контролю: защищаемая сеть не имеет четкий периметр, устройства перестают находиться внутри контролируемой зоны внутри одной организации, здания и т.д., то есть требуется защитить то, что «не видишь». «Вещами» генерируются огромные объемы информации, которые циркулируют через инфраструктуры различных владельцев, что, несомненно, должно отражаться на требованиях безопасности и требованиях к их выполнению.

Получение самой актуальной информации об устройствах в контексте сети крайне необходимо для устранения уязвимостей и исполнения политик. Безопасность должна обеспечиваться на уровне устройства, сети, системы. Особое внимание требуется уделить безопасности отдельных устройств, так как обеспечение безопасности системы, содержащей миллионы уязвимых устройств, становится трудновыполнимой задачей. Очевидными требованиями к «вещам» становятся разработка в безопасном исполнении с защитой, интегрированной на программном и аппаратном уровне и наличие надежного механизма обновлений.

Из-за сложной топологии, возможности подключать новые устройства, отсутствия четкого периметра безопасности, система защиты должна быть

легко масштабируемой и адаптивной, а комплексность таких систем обуславливает то, что ее эффективность будет выше, если она является проактивной, а не статичной. Перспективным направлением развития здесь является внедрение интеллектуальной защиты – способностей к самозащите, самодиагностике и самолечению. Вполне логичным является использование в рамках сети «вещей» вспомогательных устройств, которые будут реализовывать функции безопасности.

### **3 Обнаружение вредоносной активности в Интернете вещей**

Для описания методики обнаружения вредоносной активности сделаем следующие предположения для защищаемой системы:

1. Система обладает рядом параметров, как простых, так и сложных, отражающих связь между простыми и являющихся результатом их анализа.
2. Параметры системы обладают диапазоном нормальных значений.
3. Нормальное функционирование системы характеризуется набором определенных событий.
4. Выход значений параметров из нормального диапазона, а также события не из указанного набора являются признаками наличия вредоносной активности.

Необходим ряд последовательных этапов, повторяющихся для актуализации и повышения эффективности обнаружения активности ВПО.

1. Описание системы.

Цель данного этапа – получение первичной информации о системе, ее особенностях и конфигурации. На ее основе выделяется ряд параметров и их изначальных нормальных значений. Описание должно включать в себя: назначение системы; принцип ее функционирования; схему подключения; характеристику информации, циркулирующей в системе, и ее отношение к информации ограниченного доступа; перечень информационных активов (перечень установленного ПО, файловых ресурсов, включая сетевые, баз данных, описание адресного пространства сети и т.п.); список учетных записей; правила разграничения доступа к файловым ресурсам; сведения о политиках и т.п. Часть необходимых для описания системы сведений содержится в технической документации для системы или отдельных ее частей, организационных документах. Если система создается индивидуальным потребителем, например, самостоятельно создается система «умный дом» для личных нужд по индивидуальному проекту, то обязанность фиксации такой информации лежит на потребителе.

На основе такого описания можно выявить ряд системных параметров, нуждающихся в мониторинге. По изменениям их значений можно делать выводы о вероятном наличии вредоносной активности.

## 2. Запуск системы в тестовом режиме.

Предназначен для получения информации о нормальной работе системы. На основе анализа полученных данных определяется ряд параметров и их нормальные значения или диапазон нормальных значений. Тестовый режим функционирования системы должен быть максимально приближен к рабочему режиму. Обязательное неотъемлемое условие – это исключение возможности заражения ВПО на данном этапе.

Во время работы системы в тестовом режиме должна происходить регистрация всех событий, из которых впоследствии будет сформирован набор легитимных событий. Этот набор, по сути, представляет собой готовый «белый список» событий.

## 3. Определение критериев вредоносной активности.

Этап включает определение различных диапазонов значений для параметров и составление правил детектирования аномальной активности. Одной из основных задач является определение диапазонов трех видов, перечисленных ниже.

Диапазоны нормальной активности – диапазоны, в которых изменение значений параметров является нормой. Эти диапазоны могут динамично изменяться, так как нормальные значения могут изменяться в зависимости от времени суток, дня недели, месяца и т.д.

Диапазоны подозрительной активности – диапазоны, в рамках которых параметры принимают аномальные значения, но по ним нельзя однозначно определить наличие вредоносной активности.

Диапазоны вредоносной активности – диапазоны, в рамках которых параметры принимают аномальные значения, и по ним можно однозначно определить наличие вредоносной активности.

## 4. Мониторинг и анализ.

На основе сформированного «белого списка» и определенных ранее диапазонов значений всех критически важных параметров создается система правил, приведенная ниже.

**ПОКА** данные поступают

**ЕСЛИ** данные являются событием

**ТО**

**ЕСЛИ** событие принадлежит «белому списку»

**ТО** принять решение о нормальном функционировании

**ИНАЧЕ** реагировать на вредоносную активность

**КОНЕЦ ЕСЛИ**

**ИНАЧЕ**

**ЕСЛИ** значение параметра лежит в диапазоне нормальной активности

**ТО** принять решение о нормальном функционировании

**ИНАЧЕ**

**ЕСЛИ** значение параметра принадлежит диапазону вредоносной активности

**ТО** принять решение о реагировании на вредоносную активность

**ИНАЧЕ** принять решение о реагировании на подозрительную активность

**КОНЕЦ ЕСЛИ**

**КОНЕЦ ЕСЛИ**

**КОНЕЦ ЕСЛИ**

Она подходит для непрерывного мониторинга в режиме реального времени. Для периодического аудита устройства, сегмента сети или всей системы требуется разработать специальные «тестовые задания» – на вход проверяемого компонента подается определенный набор данных, сам компонент работает по принципу «черного ящика». По отклонению выходных значений от эталонных определяется наличие аномальной активности.

5. Реагирование, включающее устранение заражения и корректировку.

Реагирование возникает в случае обнаружения какой-либо аномальной активности на предыдущем этапе. Не всегда факт такого обнаружения может однозначно свидетельствовать о заражении ВПО. Не исключены факты ложного срабатывания, которые могут быть следствием неправильного описания системы, некорректной настройки инструментов мониторинга и другими ошибками на ранних этапах. Поэтому реагирование включает не только принятие мер по устранению заражения, но и корректировку, во время которой происходит повторное обращение к первым трем этапам и внесение необходимых изменений в описание системы, набор легитимных событий и т.д.

Корректировка требуется и в том случае, когда в саму систему внесли изменения, иначе закономерные следствия этих изменений могут восприниматься как признаки вредоносной активности.

Реагирование можно тесно увязать со значениями параметров мониторинга и длительностью активности, что представлено на рисунке 3.

Светлые зоны соответствуют нормальной активности и события, попадающие в них, не требуют какого-либо специального срочного реагирования. Они могут быть изучены в штатном режиме, например, при плановой проверке. Средняя зона соответствует подозрительной

активности, требующей дополнительной проверки. Попадание события в темные зоны требует реагирования, как в случае вирусной активности.

Можно накапливать данные о значениях параметров, характерных для конкретных изученных угроз, связанных с активностью различных типов ВПО. Тогда при появлении признаков вирусной активности, по известным данным можно делать предположение о типе угрозы и предпринимать более конкретные меры для ее нейтрализации. Также это может быть полезно для проведения расследований инцидентов информационной безопасности [Гольчевский, 2012].

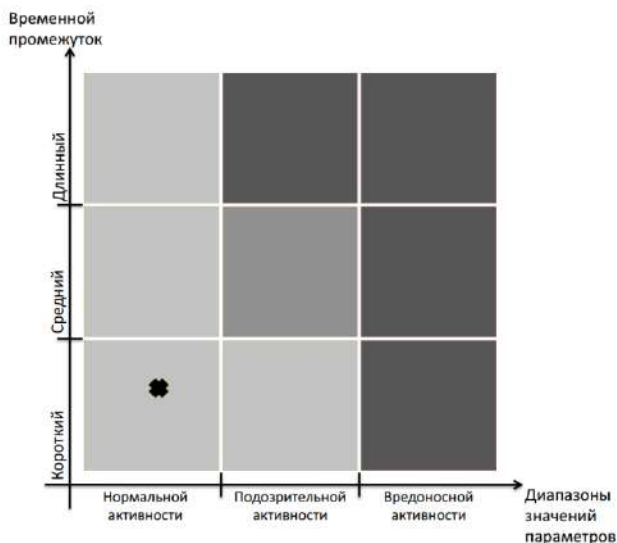


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости мер реагирования от длительности и диапазона значений отслеживаемых параметров

## 4 Заключение

В представленной работе выделены значимые отличия IoT, влияющие на подходы к обеспечению безопасности и сформулированы особенности в области обеспечения безопасности IoT. Предложен подход к обнаружению вредоносной активности, что позволяет повысить эффективность защиты IoT-системы от угрозы внедрения ВПО на конечные устройства путем своевременного обнаружения возникающей аномальной активности и своевременного реагирования на нее.



## Список литературы

- [CISCO, 2014] Интернет вещей: как использовать растущие возможности [Электронный ресурс] // Сайт компании CISCO: [сайт]. URL: [http://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2014/10-102114e.html](http://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2014/10-102114e.html) (дата обращения: 05.09.2017).
- [Press, 2014] Gil Press. It's Official: The Internet Of Things Takes Over Big Data As The Most Hyped Technology [Электронный ресурс] // Сайт Forbes: [сайт]. URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2014/08/18/its-official-the-internet-of-things-takes-over-big-data-as-the-most-hyped-technology/#3e11a8af3aca> (дата обращения: 05.09.2017).
- [CISCO, 2017] Информационная безопасность и рост трафика данных – ключевые тенденции в развитии ИТ [Электронный ресурс] // Сайт компании CISCO: [сайт]. URL: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2017/04-19.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/04-19.html) (дата обращения: 05.09.2017).
- [Гольчевский, 2013] Гольчевский Ю.В., Некрасов А.Н. К вопросу о кибербезопасности Интернет-пользователей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 235-261.
- [Ростелеком, 2016] «Ростелеком» отразил DDoS-атаки на крупнейшие банки и финансовые организации России [Электронный ресурс] // Сайт компании Ростелеком: [сайт]. URL: <https://www.rostelecom.ru/press/news/d438345/> (дата обращения: 05.09.2017).
- [Securitylab, 2016] Сайт Брайана Кребса восстановил работу после одной из мощнейших за всю историю DDoS-атак [Электронный ресурс] // Сайт Securitylab: [сайт]. URL: <http://www.securitylab.ru/news/483933.php> (дата обращения: 05.09.2017).
- [Gartner] IT Glossary. Internet of Things [Электронный ресурс] // Сайт исследовательской компании Gartner: [сайт]. URL: <http://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/> (дата обращения: 05.09.2017).
- [Скляр, 2016] Скляр В. Топ 10 технологий для Internet of Things: что будет происходить в ближайшие два года? [Электронный ресурс] URL: <https://habrahabr.ru/post/308892/> (дата обращения: 05.09.2017).
- [Trend Micro, 2017] Persirai: New Internet of Things (IoT) Botnet Targets IP Cameras [Электронный ресурс] // Сайт компании Trend Micro, TrendLabs Security Intelligence Blog: [сайт]. URL: [http://blog.trendmicro.com/trendlabs-security-intelligence/persirai-new-internet-things-iot-botnet-targets-ip-cameras/?utm\\_source=trendlabs-social&utm\\_medium=social&utm\\_campaign=05-2017-iot-botnet-targets-ip-cameras](http://blog.trendmicro.com/trendlabs-security-intelligence/persirai-new-internet-things-iot-botnet-targets-ip-cameras/?utm_source=trendlabs-social&utm_medium=social&utm_campaign=05-2017-iot-botnet-targets-ip-cameras) (дата обращения: 05.09.2017).
- [Петров, 2014] Петров Н. Целенаправленные атаки – обнаружение и защита [Электронный ресурс] // Сайт ДиалогНаука: [сайт]. URL: <https://www.dialognauka.ru/press-center/article/12528/> (дата обращения: 05.09.2017).
- [Гольчевский, 2012] Гольчевский Ю.В. О компьютерной экспертизе инцидентов информационной безопасности // Информация и безопасность. 2012. Т. 15. № 2. С. 197-204.

# INFORMATION SECURITY ASPECTS FEATURES AND MALICIOUS ACTIVITY DETECTION IN THE INTERNET OF THINGS

Golchevskiy Yu.V. (*yurag@syktsu.ru*)  
Filimonova N.A. (*nathalie.filimonova@gmail.com*)  
Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar

The paper represents the finite devices functioning on the Internet of things problems discussion and information security peculiarity analysis. A method of malicious activity monitoring and response was proposed.

**Keywords:** Internet of things, malicious activity, finite devices.

УДК 681.5

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ПИРОЛИЗА ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<sup>1</sup>

Богатиков В.Н. (*vnbgtk@mail.ru*)  
Тверской государственный технический  
университет, Тверь

Пророков А.Е. (*aprorokov@mail.ru*)  
Новомосковский институт РХТУ им.Д.И.Менделеева,  
Новомосковск

Санаева Г.Н. (*gn\_san@mail.ru*)  
Санаева Н.А. (*san\_n\_a@mail.ru*)  
Новомосковский институт РХТУ им.Д.И.Менделеева,  
Новомосковск

В работе представлен порядок построения ограничений кусочно-линейных моделей в соответствии с уравнениями материальных и тепловых балансов на основе метода разделения состояний, а также выявлены область и центр безопасности для процессов, протекающих в реакторе окислительного пиролиза в целях своевременного обнаружения нарушений, приводящих к внештатным ситуациям.

**Ключевые слова:** кусочно-линейная модель, окислительный пиролиз, ацетилен, система управления.

Производство ацетилена окислительным пиролизом природного газа в силу особенностей протекания химико-технологических процессов относится к группе особо взрыво- и пожароопасных производств органического синтеза [Антонов и др., 1970]. На эффективность протекания указанного процесса оказывает существенное влияние соблюдение требований к обеспечению безопасности его

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-01368).

функционирования, в связи с чем возникает необходимость разработки особых подходов к диагностике состояний и эффективному управлению безопасностью процесса окислительного пиролиза.

В современных исследованиях вопросы построения моделей решаются на основе экспериментальных исследований, построенных на субъективных представлениях о системе. Метод разделения состояний представляет собой первый шаг к построению нечётко-определённых моделей. Применение метода разделения состояний в работе рассматривается как дальнейшее развитие методологии применения нечётко-логических моделей в задачах управления. При этом метод разделения состояний может использоваться как самостоятельный подход для получения моделей, применяемых в системах управления.

## **2 Описание процесса окислительного пиролиза**

Производство ацетилена окислительным пиролизом природного газа относится к числу потенциально опасных химических производств, для которых задачи определения состояний для целей обеспечения безопасности в различных ситуациях, возникающих в технологическом цикле, являются особенно актуальными.

Неполнота и неопределенность информации, сопровождающие функционирование процесса окислительного пиролиза, вызваны изменением характеристик оборудования в процессе его эксплуатации («закоксовыванием» ряда элементов), непостоянством во времени состава исходного сырья для реакции (природный газ и кислород), малым временем пребывания реакционной смеси в реакционной зоне и т.д.

Технологический процесс, протекающий в реакторе окислительного пиролиза (рисунок 1), состоит из трех этапов [Антонов и др., 1970]:

- перемешивание предварительно подогретых до 650 Со исходных компонентов для реакции пиролиза в смесителе реактора;
- окислительный пиролиз в зоне реакции при температуре около 1500 Со;
- «закалка» (быстрое охлаждение) продуктов реакции водой (при температуре реакции ацетилен представляет собой неустойчивое соединение и может разлагаться на водород и сажу) с целью охлаждения полученного газа пиролиза до температуры ниже 100 Со.

При этом количество ацетилена, получаемого окислительным пиролизом природного газа, на выходе из реактора зависит от температуры предварительного подогрева и степени перемешивания исходных компонентов для реакции, а также от соотношения их расходов.

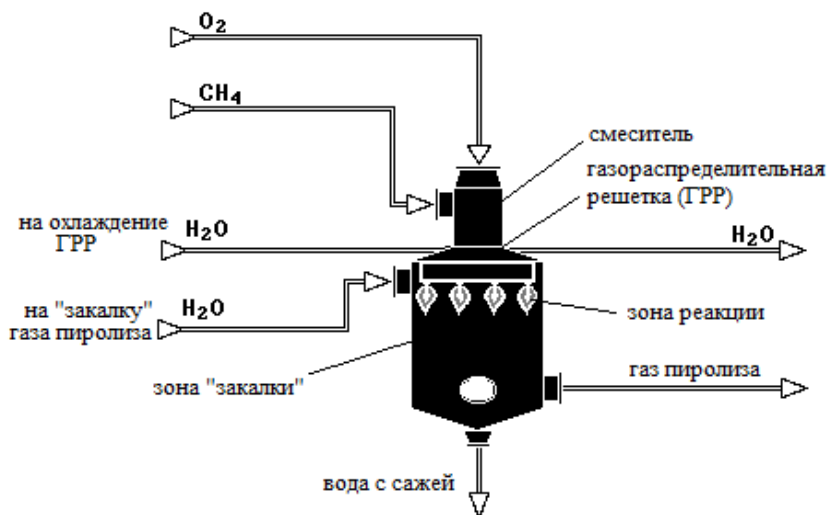


Рисунок 1 – Реактор окислительного пиролиза

С учетом особенностей рассматриваемого процесса необходима разработка специального подхода к его исследованию, пригодного для анализа экспериментальных данных и получения необходимой информации о влиянии различных технологических факторов на выход и характеристики продуктов переработки, а также диагностики состояния рассматриваемого процесса. С целью реализации возможности предсказания возникновения нарушений технологического режима, приводящих к предаварийным и аварийным ситуациям, составлена математическая модель, включающая в себя материальные и тепловые балансы для каждого из этапов процесса окислительного пиролиза [Санаева и др., 2015a]. Для решения задачи повышения уровня технологической безопасности производства ацетилена целесообразно создание специальной системы оценки состояний и диагностики нарушений с использованием кусочно-линейной модели указанного процесса.

### 3 Построение ограничений кусочно-линейной модели процесса окислительного пиролиза

Основной задачей системы эффективной диагностики состояния процесса получения ацетилена окислительным пиролизом природного газа является своевременное обнаружение нарушений, приводящих к внештатным ситуациям, для чего необходимо определить область наиболее безопасного функционирования технологического процесса в

штатном режиме – область центра технологической безопасности [Санаева и др., 2015b].

Применяя методы кусочно-линейной аппроксимации можно представить функционирование процесса окислительного пиролиза последовательной схемой смены его состояний на некотором интервале времени ( $t_o$ ,  $t_k$ ). Набор параметров процесса характеризует состояние системы в каждый момент времени  $t$  из этого интервала.

Область номинальных режимов (область работоспособного состояния) процесса определяется совокупностями технологических, конструктивных параметров и параметров управления [Богатиков и др., 2004]. Поскольку на технологический процесс при его рабочем функционировании накладываются ограничения, переходом во внештатную ситуацию является выход за пределы этих ограничений, которые таким образом определяют на множестве всех состояний процесса  $n$ -мерную область, в которой процесс не выходит во внештатные ситуации – область всех работоспособных состояний процесса [Палюх и др., 2012].

При использовании кусочно-линейных моделей для определения области безопасности процесса окислительного пиролиза получена система линейных ограничений, которые играют важную роль для организации контроля состояния технологического процесса и на основе которых осуществляется классификация состояний ХТС.

Для зоны реакции при рассмотрении основной реакции получения ацетилена  $CH_4 = C_2H_2 + 3 \cdot H_2$  основные ограничения кусочно-линейной модели имеют вид, представленный в таблице 1, где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $G$  – расход, м<sup>3</sup>/с;  $V_{см}$ ,  $V_p$ ,  $V_z$  – объем смесителя, зоны реакции, зоны «закалки», соответственно, м<sup>3</sup>;  $m_i$  – молекулярный вес компонента  $i$ , кг/моль;  $C$  – концентрация компонента, % (об.);  $c$  – теплоемкость газа пиролиза, Дж/(кг·К);  $T$  – температура, К;  $k_i$  – константа скорости химической реакции, с<sup>-1</sup>;  $A_i$  – скорость изменения количества соответствующих компонентов реакции; см – метано-кислородная смесь; ГП – газ пиролиза; ВЗ – вода на «закалку»; CH<sub>4</sub> – метан; O<sub>2</sub> – кислород; C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> – ацетилен.

Полученные ограничения применимы при прогнозировании возникновения отказов, являющихся результатом изменения свойств веществ, используемых в ХТП (непостоянство состава природного газа как исходного компонента для реакции), характеристик аппарата («закоксовывание» – оседание сажи) и т.д. Это приводит к нарушению составленных ограничений и указывает на неполадки, появляющиеся в технологической системе.

Таблица 1 – Основные ограничения кусочно-линейной модели реактора окислительного пиролиза

Основные уравнения материальных и тепловых балансов модели	Основные ограничения кусочно-линейной модели
<p><i>Смеситель:</i></p> $V_{\text{см}} \cdot \frac{d\rho_{\text{см}}}{dt} = G_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} + G_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} - G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}$	$G_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} + G_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} - G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}^{\min} > \Delta\rho_{\text{см}}(k)$ $G_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} + G_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} - G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}^{\max} < \Delta\rho_{\text{см}}(k)$
<p><i>Реакционная зона:</i> (реакция <math>2\text{CH}_4 = \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \cdot \text{H}_2</math>)</p> $V_p \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot \frac{dC_{\text{CH}_4}}{dt} = G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot (C_{\text{CH}_4}^0 - C_{\text{CH}_4}) - A_{\text{CH}_4}(C_{\text{CH}_4}, C_{\text{C}_2\text{H}_2}, C_{\text{H}_2}, T);$ $V_p \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{C}_2\text{H}_2}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot \frac{dC_{\text{C}_2\text{H}_2}}{dt} = G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{C}_2\text{H}_2}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot (C_{\text{C}_2\text{H}_2}^0 - C_{\text{C}_2\text{H}_2}) - A_{\text{C}_2\text{H}_2}(C_{\text{CH}_4}, C_{\text{C}_2\text{H}_2}, C_{\text{H}_2}, T);$ $V_p \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot \frac{dC_{\text{H}_2}}{dt} = G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \left(\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot (C_{\text{H}_2}^0 - C_{\text{H}_2}) - A_{\text{H}_2}(C_{\text{CH}_4}, C_{\text{C}_2\text{H}_2}, C_{\text{H}_2}, T);$	$\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} \cdot C_{\text{CH}_4}^{\text{BX}} - k5 \cdot V_p (C_{\text{CH}_4}^0)^2 - \left(\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} - 2 \cdot k5 \cdot V_p \cdot C_{\text{CH}_4}^0\right) \cdot C_{\text{CH}_4}^{\min} > \Delta C_{\text{CH}_4}(k)$ $\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} \cdot C_{\text{CH}_4}^{\text{BX}} - k5 \cdot V_p (C_{\text{CH}_4}^0)^2 - \left(\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} - 2 \cdot k5 \cdot V_p \cdot C_{\text{CH}_4}^0\right) \cdot C_{\text{CH}_4}^{\max} < \Delta C_{\text{CH}_4}(k)$ $\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} \cdot C_{\text{C}_2\text{H}_2}^{\text{BX}} - k5 \cdot V_p (C_{\text{CH}_4}^0)^2 - \left(\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} - k5 \cdot V_p \cdot C_{\text{C}_2\text{H}_2}^0\right) \cdot C_{\text{CH}_4}^{\min} > \Delta C_{\text{C}_2\text{H}_2}(k)$ $\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} \cdot C_{\text{CH}_4}^{\text{BX}} - k5 \cdot V_p (C_{\text{CH}_4}^0)^2 - \left(\frac{G_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}}{m_{\text{см}}} - k5 \cdot V_p \cdot C_{\text{C}_2\text{H}_2}^0\right) \cdot C_{\text{CH}_4}^{\max} < \Delta C_{\text{C}_2\text{H}_2}(k)$

$c \cdot \rho \cdot \frac{dT_{\text{ВЫХ}}}{dt} = G_{CH_4} \cdot r_{CH_4} + c \cdot \rho \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВЫХ}}) - Q_3 - Q_5$	$\begin{aligned} & \frac{G_{\text{CM}} \cdot \rho_{CH_4}}{m_{\text{CM}}} \cdot C_{H_2}^{\text{ВХ}} - k5 \cdot V_p (C_{CH_4}^0)^2 \\ & - \left( \frac{G_{\text{CM}} \cdot \rho_{CH_4}}{m_{\text{CM}}} - k5 \cdot V_p \cdot C_{H_2}^0 \right) \cdot C_{CH_4}^{\text{min}} \\ & > \Delta C_{H_2}(k) \\ & \frac{G_{\text{CM}} \cdot \rho_{CH_4}}{m_{\text{CM}}} \cdot C_{CH_4}^{\text{ВХ}} - k5 \cdot V_p (C_{CH_4}^0)^2 \\ & - \left( \frac{G_{\text{CM}} \cdot \rho_{CH_4}}{m_{\text{CM}}} - k5 \cdot V_p \cdot C_{H_2}^0 \right) \cdot C_{CH_4}^{\text{max}} \\ & < \Delta C_{H_2}(k) \\ & ((G_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4} + G_{O_2} \cdot \rho_{O_2}) \cdot c \cdot T_{\text{min}} + G_{CH_4} \cdot r_{CH_4} - G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot T_{\text{ГП}}^{\text{max}}) > \Delta T_{\text{ВЫХ}} \\ & ((G_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4} + G_{O_2} \cdot \rho_{O_2}) \cdot c \cdot T_{\text{max}} + G_{CH_4} \cdot r_{CH_4} - G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot T_{\text{ГП}}^{\text{min}}) < \Delta T_{\text{ВЫХ}} \end{aligned}$
<p><i>Зона «закалки»</i></p> $c \cdot \rho \cdot V_3 \frac{dT_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}}}{dt} = G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot \rho \cdot (T_{\text{ГП}} - T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}}) - k \cdot F \cdot (T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) - G_{\text{ГП}} \cdot \alpha \cdot \rho$ $c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot V_3 \frac{dT_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}}{dt} = G_{\text{ВЗ}} \cdot c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot (T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВХ}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) - k \cdot F \cdot (T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}})$	$\begin{aligned} & G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot \rho \cdot T_{\text{ГП}} - G_{\text{ГП}} \cdot \alpha \cdot \rho - k \cdot F \cdot T_{\text{ВЗ}} - (G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot \rho + k \cdot F) \cdot T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}} \\ & > c \cdot \rho \cdot \Delta T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}} \\ & G_{\text{ГП}} \cdot c \cdot \rho \cdot T_{\text{ГП}}^{(\text{ВЫХ})\text{min}} - k \cdot F \cdot (T_{\text{ГП}}^{(\text{ВЫХ})\text{min}} - T_{\text{ВЗ}}^{(\text{ВЫХ})\text{max}}) \\ & < \Delta c \cdot \rho \cdot \Delta T_{\text{ГП}}^{\text{ВЫХ}} \\ & G_{\text{ВЗ}}^{\text{min}} \cdot c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot (T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВХ}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) + k \cdot F \cdot (T_{\text{ГП}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) \\ & > c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot V_3 \cdot \Delta T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}} \\ & G_{\text{ВЗ}}^{\text{max}} \cdot c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot (T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВХ}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) + k \cdot F \cdot (T_{\text{ГП}} - T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}}) \\ & < c_{\text{ВЗ}} \cdot \rho_{\text{ВЗ}} \cdot V_3 \cdot \Delta T_{\text{ВЗ}}^{\text{ВЫХ}} \end{aligned}$

#### 4 Синтез системы управления

Основной задачей системы эффективной диагностики и обеспечения технологической безопасности процесса производства ацетилена



окислительным пиролизом является своевременное обнаружение нарушений, способных привести к внештатным ситуациям. Для этого следует определить область наиболее безопасного функционирования технологического процесса в штатном режиме – область центра технологической безопасности [Палюх и др., 2012b]. Для определения области безопасности для класса непрерывных технологических процессов, к которым относится, в том числе, и процесс окислительного пиролиза, целесообразно использование метода разделения состояний, позволяющего при наличии ограничений вида

$$x_{ik}^{(\min)} < x_i < x_{ik}^{(\max)}, (i = 1, I; k = 1, K_i)$$

где  $i$  – номер переменной состояния;  $k$  – номер технологического режима работы  $i$ -й переменной, с какой угодно степенью дифференциации, перечислять на основе чисто комбинаторного перебора возможные не пересекаемые области существования переменных состояния (таблица 1).

В соответствии с алгоритмом определения области центра безопасности координаты требуемой точки образованы коэффициентами матрицы  $A$  и свободными членами  $b$ , а постоянными коэффициентами являются заранее заданные минимальные и максимальные значения переменных состояния [Палюх и др., 2012b].

В результате проведенных расчетов матрица коэффициентов  $A$  для уравнения реакции получения ацетилена  $CH_4 = C_2H_2 + 3 \cdot H_2$  примет вид:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} \\ a_{43} & 0 & a_{43} \end{bmatrix},$$

где

$$a_{11} = -k \cdot V_r \cdot (2 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^0 \cdot (C_{CH_4})^{max} + 3 \cdot (C_{CH_4}^0)^2 \cdot (C_{CH_4})^2 \cdot (C_{O_2})^{max} - 4 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot (C_{CH_4}^0)^2)$$

$$a_{12} = -k \cdot V_r \cdot (2 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^0 \cdot (C_{CH_4})^{max} + 3 \cdot (C_{O_2}^0)^2 \cdot (C_{CH_4}^0)^2 \cdot (C_{O_2})^{max} - 4 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot (C_{CH_4}^0)^2)$$

$$a_{21} = -k \cdot V_r \cdot (2 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^0 \cdot (C_{CH_4})^{min} + 3 \cdot (C_{O_2}^0)^2 \cdot (C_{CH_4}^0)^2 \cdot (C_{O_2})^{min} - 4 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot (C_{CH_4}^0)^2)$$

$$a_{22} = -k \cdot V_r \cdot (2 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^0 \cdot (C_{CH_4})^{min} + 3 \cdot (C_{O_2}^0)^2 \cdot (C_{CH_4}^0)^2 \cdot (C_{O_2})^{min} - 4 \cdot (C_{O_2}^0)^3 \cdot (C_{CH_4}^0)^2)$$

$$a_{31} = -V_r \cdot (4 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^{max} - 3 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^4)$$

$$a_{33} = (G_{CH_4}^{вых})^{min} + V_r \cdot (4 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^{max} - 3 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^4)$$

$$a_{43} = (G_{CH_4}^{вых})^{max} + V_r \cdot (4 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^3 \cdot C_{CH_4}^{min} - 3 \cdot k \cdot (C_{CH_4}^0)^4)$$

При анализе полученных в результате расчетов по модели данных выявлено, что параметры выходных технологически потоков можно только контролировать, а управление ими осуществляется только за счет изменения значений входных технологических параметров – расходов и температуры. В связи с этим представленная кусочно-линейная модель позволяет при изменении значения какого-либо входного параметра осуществлять перерасчет остальных входных параметров при стабилизации значений выходных параметров в области центра технологической безопасности. Например, при изменении расхода метана на реакцию пиролиза производится перерасчет расхода кислорода на реакцию и природного газа на горелку подогревателя, а также расхода воды на «закалку» газа пиролиза с целью поддержания значений выходных параметров в требуемом диапазоне.

Эффективность производства ацетилена окислительным пиролизом природного газа в значительной степени зависит от рационального расходования используемых материальных и энергетических ресурсов. В систему управления процессом получения ацетилена (рисунок 2) входят, в том числе, подогреватель исходных компонентов для реакции (П) и реактор окислительного пиролиза (Р).

Рисунок 2 – Система управления процессом окислительного пиролиза

В рассматриваемой системе управления выделяются следующие *контуры управления*: поддержание соотношения расходов исходных компонентов для реакции; регулирование температуры исходных компонентов перед реактором; регулирование расхода воды на «закалку» газа пиролиза. *Управляющими параметрами* системы управления являются расходы природного газа и кислорода, ( $G_{CH_4}$  и  $G_{O_2}$ ); расход воды на «закалку» газа пиролиза, ( $G_6$ ). В качестве *возмущающих параметров* выделяются концентрации  $C_2H_2$ ,  $O_2$  и  $CH_4$  на выходе из реактора, ( $C_{C_2H_2}$ ,  $C_{O_2}$ ,  $C_{CH_4}$ ); температура газа пиролиза на выходе из реактора, ( $T_6$ ).

В рассматриваемой схеме вычисление центра технологической безопасности осуществляется согласно критерию, составленному с учетом задачи энерго- и ресурсосбережения. При этом входными данными являются параметры, получаемые с объектов управления, относительно которых решается задача нелинейного программирования для определения области и центра безопасности. Далее, исходя из значений возмущающих параметров, определяются значения заданий для регуляторов, которые, в свою очередь, вырабатывают управляющие воздействия на соответствующие исполнительные устройства.

## 5 Заключение

При использовании метода разделения состояний построена модель технологического процесса окислительного пиролиза, а также определена область его технологической безопасности при нормальном режиме функционирования. Это позволяет отслеживать возможность возникновения аварийных ситуаций и проводить данный технологический процесс наиболее эффективным способом как с точки зрения получения ацетилена в качестве продукта процесса окислительного пиролиза природного газа, так и с точки зрения уменьшения неблагоприятного воздействия на окружающую среду и обслуживающий персонал.

## Список литературы

- [Антонов и др., 1970] Антонов В.Н., Лapidус А.С. Производство ацетилена. М.: Химия, 1970. – 416 с.
- [Богатиков и др., 2004] Богатиков В.Н., Палюх Б.В., Пророков А.Е., Мартыненко И.Б. Методология управления технологической безопасностью непрерывных химико-технологических процессов на основе дискретных моделей: /РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковский институт, Новомосковск, 2004, 188 с.
- [Палюх и др., 2012a] Палюх Б.В., Богатиков В.Н., Олейник А.Г., Алексеев В.В., Пророков А.Е. Новые технологии диагностики состояний и управления безопасностью промышленных процессов: методическое руководство для аспирантских и магистерских работ. Тверь: ТвГТУ, 2012. 72с.

- [Палюх и др., 2012b] Палюх, Б.В., Богатиков В.Н., Пророков А.Е., Алексеев В.В. Приложение метода разделения состояний для управления технологической безопасностью промышленных процессов на основе нечетко определенных моделей. Тверь: ТГТУ, 2009. 348 с.
- [Санаева и др., 2015a] Санаева Г.Н., Пророков А.Е., Богатиков В.Н. Об определении области и центра технологической безопасности процесса производства ацетилена окислительным пиролизом природного газа / Логистика и экономика ресурсо-энергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-9-2015»). Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции ЛЭРЭП-9-15. – Смоленск, 2015. С.119-122
- [Санаева и др., 2015b] Санаева Г.Н., Пророков А.Е., Богатиков В.Н. Построение дискретной модели процесса производства ацетилена окислительным пиролизом природного газа / Логистика и экономика ресурсо-энергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-9-2015»). Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции ЛЭРЭП-9-15. – Смоленск, 2015. С.105-109.

## APPLICATION OF THE METHOD OF PIECE-LINEAR APPROXIMATION AT THE DEVELOPMENT OF THE MODEL OF THE PROCESS OF OXIDATIVE PYROLYSIS FOR THE CONTROL SYSTEM SYNTHESIS

Bogatikov V.N. ([vnbgtk@mail.ru](mailto:vnbgtk@mail.ru))  
Tver State Technical University, Tver

Prorokov A.E. ([aprorokov@mail.ru](mailto:aprorokov@mail.ru))

Sanaeva G.N. ([gn\\_san@mail.ru](mailto:gn_san@mail.ru))

Sanaeva N.A. ([san\\_n\\_a@mail.ru](mailto:san_n_a@mail.ru))

Novomoskovsk Institute (branch) of MUCTR,  
Novomoskovsk

The paper presents the order of constructing constraints for piecewise linear models in accordance with the equations of material and thermal balances on the basis of the state separation method, and also the region and the safety center for the processes occurring in the oxidative pyrolysis reactor are identified in order to timely detect violations that lead to extraordinary situations.

**Keywords:** piecewise linear model, oxidative pyrolysis, acetylene, control system.

## МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ СОЗДАНИИ НАУКОЕМКИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ<sup>1</sup>

Бурдо Г.Б. (*gbtms@yandex.ru*)

Сорокин А.Ю. (*AC1305S@yandex.ru*)

Исаев А.А. (*alex\_is05@mail.ru*)

Тверской государственный технический университет,  
Тверь

Стоянова О.В. (*ovstoyanova@list.ru*)

Филиал "Национальный исследовательский  
университет "МЭИ", Смоленск

Российский и мировой рынки диктуют спрос на наукоёмкую высокотехнологичную продукцию различных областей машиностроения. Учитывая высокий уровень конкуренции, актуальной является задача сокращения сроков проектирования и изготовления опытных образцов наукоёмкой машиностроительной продукции при обеспечении их надлежащего качества, что предполагает разработку соответствующих автоматизированных систем. Сформулированы принципы построения автоматизированных систем управления качеством, дано их теоретико-множественное описание, показаны подходы к принятию решений.

**Ключевые слова:** управление качеством продукции, жизненный цикл изделия, техническая подготовка производства, интеллектуальные системы, принятие решений

### 1 Введение

К сегодняшнему моменту времени в отечественном и в зарубежном машиностроении сложилась такая ситуация, что требования потребителей изделий предопределяют весьма сжатые сроки появления на рынке новой качественной высокотехнологичной наукоёмкой машиностроительной продукции (НМП). При этом первоочередной задачей является

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00566).

проектирование и производство первых высококачественных образцов новых изделий параллельно с выпуском серийных. Жизненный цикл изделий (ЖЦИ), выпускаемых серийно, изучен достаточно подробно, а рынок программных продуктов по поддержке принятия решений на его этапах представлен достаточно широко [Колчин и др., 2002].

Проект по созданию первых образцов новых изделий является специфичной задачей по целому ряду причин, что отличает её от стоящих при производстве и обеспечении качества серийно выпускаемой продукции [Бурдо и др., 2013], [ГОСТ ISO 9001-2011, 2012], [Бурдо и др., 2014] или реинжиниринге:

- 1) особенность структуры жизненного цикла НМП;
- 2) нечеткость критериев оценки технических и технико-экономических показателей качества продукции;
- 3) наличие большого числа итерационных процедур при выполнении НИОКР, проектировании и производстве, связанных с высокой неформальностью задач и неполнотой информации;
- 4) необходимость параллельного по времени выполнения ряда этапов (НИОКР и конструкторская подготовка производства (КПП); НИОКР, КПП и технологическая подготовка производства (ТхПП) и т.д.);
- 5) изготовление образца НМП по новым технологиям.

Особенность задач не позволяет достаточно эффективно использовать существующие инструментальные средства поддержки принятия решений при реализации проектов по созданию НМП.

С позиции обеспечения качества наиболее ответственными этапами при создании НМП являются техническая подготовка производства (ТПП), включающая НИОКР, КПП, ТхПП, производственное планирование (ПП), изготовление и испытания (И).

Поэтому, разработка автоматизированной системы управления качеством на этапах технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоемкой машиностроительной продукции (АСУ ТППиИ) востребована временем.

## **2 Принципы построения АСУ ТППиИ**

Принципы сформулированы следующим образом [Бурдо и др., 2014].

1. Принцип соответствия этапов ТПП и И образца наукоемкой продукции этапам жизненного цикла изделия.
2. Принцип итерационного принятия решений.
3. Иерархичность системы.
4. Определенность функционирования системы.
5. Наличие элементов искусственного интеллекта.
6. Совмещение выполнения работ этапов во времени.

7. Производительность критериев оценки качества НПП от технического задания, от ожидаемых показателей функционирования продукции при её промышленном выпуске, и от мирового опыта проектирования подобных изделий.

8. Принцип многовариантности.

9. Принципы формирования критериев оценки решений на этапах:

- 9а. Принцип граничного вида критериев;
- 9б. Принцип относительного вида критериев;
- 9в. Принцип комплексности критериев.
- 9г. Принцип уточнения критериев.

Выявленные принципы построения АСУ ТППиИ [Бурдо, 2011], [Бурдо и др., 2014] позволяют создавать автоматизированную систему, обеспечивающую:

- а) создание НМП надлежащего качества;
- б) выполнение процедур принятия решений адекватно процессам, существующим в реальной производственной системе [Еремеев и др., 2010],
- в) информационную интеграцию с системой управления организацией более высокого уровня,
- г) встраивание АСУ ТППиИ в автоматизированные системы поддержки жизненного цикла продукции,
- д) соответствие процедур принятия решений логике человеческого мышления и алгоритмам действий специалистов [Рыбина, 2010],
- е) сокращение суммарного времени (цикла) изготовления образца наукоёмкой продукции.

### **3 Модель автоматизированной системы управления качеством на этапах технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоёмкой машиностроительной продукции**

#### **3.1 Иерархия автоматизированной системы**

Разработанная на основе выявления структуры и функций процедур, выполняемых при создании НМП, теоретико-множественная модель [Месарович, 1978], [Бурдо и др., 2014] АСУ ТППиИ показана на рисунке 1.

Можно увидеть, что управляющие процедуры выполняются после каждого этапа на основании сравнения результатов с требуемыми параметрами, представленными в ТЗ.

Модель имеет 4-е уровня иерархии:

Первый уровень – автоматизированная система управления организацией (предприятием), АСУП.

Второй уровень – уровень управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия.

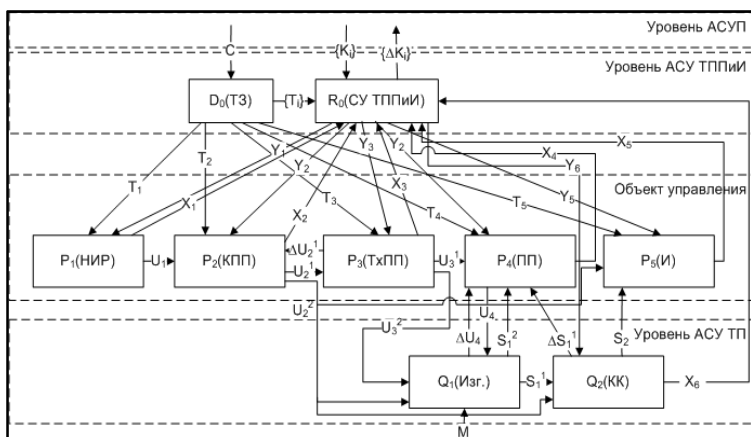


Рисунок 1 – Теоретико-множественная модель

Третий уровень – уровень реализации основных этапов ТППИИ.

Четвертый уровень – уровень управления технологическими процессами.

### 3.2 Информационные преобразования в автоматизированной системе

Первый уровень – автоматизированная система управления организацией (предприятием) АСУП, информационно определяет функционирование автоматизированной системы управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППИИ). АСУП задает целевую функцию для АСУ ТППИИ, включающую множество критериев  $A$  оценки выполнения каждого из этапов ТППИИ,  $A = F(K)$ , где  $K = \{K_i\}$  – множество критериев показателей качества изделия и (или) качества выполнения работ на этапах (далее по тексту – множество критериев). Указанные критерии отражаются в техническом задании  $C$  для совокупности процессов, управляемых АСУ ТППИИ.

Второй уровень – уровень управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППИИ) представлен операторами  $D_0$  и  $R_0$ . Оператор  $D_0$  (блок задания) формирует множество технических заданий  $TЗ = \{T_1, T_2, \dots, T_5\}$  для каждого из этапов процесса ТПП и И. Им реализуется 5 функций. Здесь и далее функции операторов подробно не рассматриваются в связи с ограниченностью объема работы.  $R_0$  управляет работой на всех этапах создания образца наукоемкой продукции. Он реализует 7 функций.



Третий уровень – уровень реализации основных этапов ТППиИ, представлен операторами  $P_1 - P_5$ .  $P_1$  – выполнение НИОКР (НИР), предусмотренных техническим заданием  $T_1$ . Он выполняет 2 функции.

Оператор  $P_2$  – выполнение работ по КПП, предусмотренных заданием  $T_2$ . Выполняет 3 функции. Оператор  $P_3$  – выполнение работ по ТхПП, предусмотренных заданием  $T_3$ . Он выполняет 4 функции. Оператор  $P_4$  – планирование производства (ПП), т.е. планирование работ в производственной системе. Он выполняет 2 функции. Оператор  $P_5$  – испытания образца наукоемкой продукции (И).

Четвертый уровень – уровень управления технологическими процессами (АСУ ТП). Он представлен операторами  $Q_1$  и  $Q_2$ . Оператор  $Q_1$  – изготовление опытного образца изделия. Выполняет 3 функции. Оператор  $Q_2$  – контроль деталей, узлов и изделий целиком. Он также выполняет 3 функции.

Анализируя данную модель, можно отметить следующее.

1. В модели воздействиями  $Y_1 - Y_5$  определяется завершение работ по каждому этапу или формирование итерационных процедур (см. принципы 2 и 5).

2. Учитывая стадийность работ по каждому этапу (для стадии последующего этапа требуется лишь часть информации предыдущего), возможно совмещение работ разных этапов во времени (см. принцип 6).

3. Показатели  $\{K_i\}$  и вытекающие из них критерии логически увязаны с техническим заданием для каждого этапа  $\{T_i\}$  (см. принцип 7).

4. В модели отсутствует дублирование функций, что обуславливает определенность решений (см. принцип 4).

5. Иерархичность и смысл процедур соответствуют иерархии принятия решений при управлении производственными системами в машиностроении (см. принцип 3).

6. Состав этапов, управляемых АСУ ТППиИ, вписывается в логику структуры жизненного цикла машиностроительных изделий (см. принцип 1). Реализация остальных принципов выполняется при разработке временных моделей и алгоритмов принятия решений в АСУ ТППиИ.

#### **4 Организация работы АСУ ТППиИ**

Автоматизированная система реализуется как гибридная система поддержки принятия решений, т.е. как «советующая» лицу, принимающему решение (ЛПР). Таковым, как правило, является руководитель проекта по созданию образца НМП. По его распоряжению, для отдельных этапов ответственным может назначаться кто-либо из состава проектной группы.

Оценка проектных решений выполняется последовательно на каждом этапе с помощью системы частных критериев  $K = \{K_i\}$ , производных от

технического задания, и учитывающих мировой опыт проектирования подобных изделий.

Частные критерии могут иметь количественный (формализованный) или качественный (неформализованный) виды. С помощью критериев количественного вида оценка производится автоматизированной системой, критерии приводятся к шкале в диапазоне от 0 (очень плохо) до 1 (очень хорошо).

Для оценки решения критериями качественного вида необходимо привлечение экспертов – работников организации (чаще всего), или со стороны. Подбор экспертов - весьма важная задача, требует отдельного разговора, поэтому нами подробно не затрагивается.

Экспертам присваиваются веса, учитывающие, в первую очередь, их квалификацию и ответственность за реализации принимаемого решения.

Каждый из экспертов дает оценку своей уверенности по качеству решения с использованием нечеткой шкалы.

Для получения результирующей численной оценки уверенности экспертов в определенном уровне качества решения используется аппарат нечетких множеств [Заде, 1976], позволяющий получить численную результирующую оценку в том же самом диапазоне от 0 (очень плохо) до 1 (очень хорошо).

Автоматизированной системой на каждом уровне на основе частных критериев с помощью продукционных моделей синтезируется обобщенный, помогающий ЛПР принять решение о продолжении работ на этапе, либо о переходе на следующий.

По завершению работ на всех этапах определяется общая оценка качества проекта и дается заключение по проекту.

## **5 Заключение**

Дальнейшим этапом работ будет являться создание на основе правил преобразования и обмена информацией операторами представленной теоретико-множественной модели, а также с учетом выше обозначенного принципа 6 темпоральной (временной) [Еремеев и др., 2010] структуры функционирования АСУ ТППИИ.

Указанные две модели (теоретико-множественная и временная) послужат основой для отработки методов, моделей и алгоритмов принятия решений в автоматизированной системе.

## **Список литературы**

- [Бурдо, 2011] Бурдо, Г.Б. Интеллектуальные процедуры планирования и управления в производственных системах геофизического приборостроения. Программные продукты и системы, 2011. -№3(95). -С.107-110.
- [Бурдо и др., 2013] Бурдо, Г.Б., Сорокин А.Ю. Модель автоматизированной системы управления качеством в многономенклатурном машиностроительном

- производстве/ Г.Б. Бурдо, А.Ю. Сорокин //Программные продукты и системы, 2013. №4(104). С.248-253.
- [Бурдо и др., 2014] Бурдо, Г.Б. Автоматизированная система управления процессами создания наукоемких машиностроительных изделий/ Г.Б. Бурдо, О.В. Стоянова//Программные продукты и системы. 2014. № 2 (106). С. 164-170.
- [ГОСТ ISO 9001-2011, 2012] ГОСТ ISO 9001-2011. Системы менеджмента качества. Москва, Стандартинформ. 2012. 36 С.
- [Дитрих, 1981] Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. М.: Мир. 1981.456 с.
- [Еремеев и др., 2010] Еремеев, А.П. Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени / Интеллектуальные системы: Коллективная монография/ А.П. Еремеев, И.Е. Куриленко // Вып 4. М.: Физматлит. 2010. С. 222–252.
- [Заде, 1976] Л. Заде. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. – М.: Мир. 1976.
- [Колчин и др., 2002] Колчин, А. Ф. Управление жизненным циклом продукции. / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков // М.: Анархист. 2002. – 304 с.
- [Месарович, 1978] М. Месарович, Я. Такахара. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир. 1978. 311с.
- [Рыбина, 2010] Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика; Инфра-М. 2010. - 432 с.

## MODELS FOR QUALITY MANAGEMENT IN THE CREATION OF HIGH-TECH ENGINEERING PRODUCTS

Burdo G.B. (*gbtms@yandex.ru*)  
Sorokin A.Yu. (*AC1305S@yandex.ru*)  
Isaev A.A. (*alex\_is05@mail.ru*)  
Tver state technical University, Tver

Stoyanova O.V. (*ovstoyanova@list.ru*)  
Branch National research University "Moscow power  
engineering Institute", Smolensk

The Russian and world markets dictate demand for high-tech products in various fields of engineering. Given the high level of competition, the actual problem of reduction of terms of designing and production of prototype high-tech engineering products while ensuring their proper quality, which implies the development of appropriate automated systems. Formulated principles of construction of automated systems of quality control, given their set-theoretic description, we have shown approaches to decision-making.

**Keywords:** product stewardship, life cycle of a product, technical preparation of production, intelligent systems, decision making.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Романов А.А. (*romanov73@gmail.com*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В статье дается обзор методов, позволяющих оценить трудоемкость производства. В том обзоре попробуем выделить требования для определения исходной информации, факторы, влияющие на точность итоговой оценки, сложность построения модели трудоемкости.

**Ключевые слова:** планирование, сетевые модели, производство

### 1 Введение

Задача оценки трудоемкости возникла из необходимости планирования работы над большими проектами. Под большими проектами понимается проект, содержащий большое количество связанных работ, состоящий из большого числа компонент. Количество работ и структурных компонент будем считать большим в том случае, если их реализация сопряжена с неопределенностью. Задача оценки трудоемкости тесно связана с задачей управления, поскольку неопределенность на начальном этапе может потребовать корректировки процессов реализации проекта, изменение приоритетов, последовательности и спектра выполнения работ. Область применения подходов по оценке трудоемкости достаточно широка, ввиду того, что работа моделей основывается на декомпозиции задач и их оценки в требуемых величинах [Ефимов, 2015].

Часть методов имеют частное применение - в отрасли разработки программного обеспечения. Но если абстрагироваться от предметных областей ради извлечения общей концепции, то такие методы также заслуживают внимания. Особенно если учесть, что к применению моделей для оценки трудоемкости разработки программных систем в последнее время имеется повышенный интерес. Соответственно, последние достижения из этой области можно попробовать распространить на другие типы проектов.

## 2 Сетевые модели

В числе первых методов управления проектами в конце 50-х годов были разработаны методы сетевого планирования и управления: метод СРМ (Critical Path Method, 1957 г.) [Абрамова, 2007].

Основным документом при сетевом планировании и, соответственно, управления является сетевой график. График является информационно-динамическую модель, в которой изображаются взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели проекта. В сетевом графике взаимосвязанные работы отображают последовательность действий с оценкой времени их выполнения. Получается, что на итоговую оценку времени выполнения влияют как длительности работ, так и последовательности, в которую они выстраиваются [Клиффорд, 2003].

Сетевая модель – конечный ориентированный граф, в котором одна вершина не имеет входных дуг (начало работ) и одна вершина не имеет исходных дуг (окончание работ, получение результата). Другими словами, сетевой график - это ориентированный граф без контуров, ребра которого имеют одни или несколько числовых характеристик. Ребрами на графе изображаются работы, а вершинами графа - события.

Критическим путем в сетевой модели называть путь в графе, занимающий максимальное время исполнения, и, следовательно, имеющий максимальную трудоемкость [Леви, 1963].

Построение сетевых графиков ограничивается множеством правил, что положительно сказывается на однозначной алгоритмической реализации данного метода.

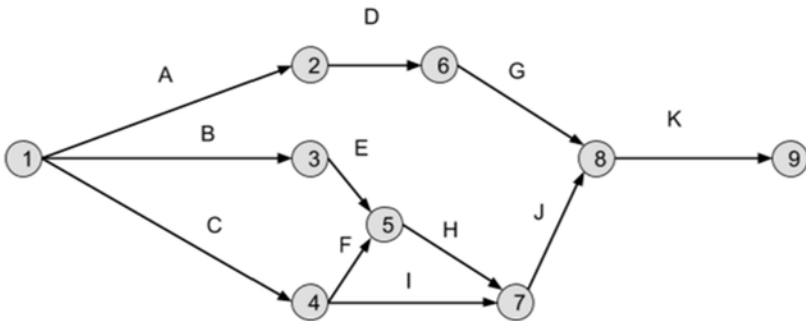


Рисунок 1 – Пример сетевой модели

На рисунке 1 изображен пример сетевого графика, на котором переходы А, В, ..., К обозначают работы, кодирующиеся начальным и конечным событием, например, для работы А (1,2).

### 3 PERT

PERT - Program Evaluation and Review Technique - технология оценки и пересмотра программы, которая базируется на идее сетевого планирования. Как и в прочих случаях для того чтобы рассчитать для каждой работы дату начала и дату окончания, нужно оценить длительности всех работ с оценкой того, сколько они займут времени. Только после этого можно эту модель рассчитать и понять сроки окончания работ. Разумеется, что сделать точный расчет по данному методу не получится вследствие, например, нехватки компетенций, различного рода неопределенностей. Поэтому в рамках работы данного метода предлагается использовать не одну оценку, а три:

- оптимистическую;
- пессимистическую;
- наиболее вероятностную.

При этом рекомендуется применять технику скользящего пересмотра сроков с учетом достигнутых результатов. Таким образом, PERT предназначен для оптимизации длительности проектов за счет логико-управленческих решений и, в большей степени, благодаря применению статистических методов. Техника позволяет при расчете продолжительности работ применить вероятностный подход с использованием, так называемого, среднего значения  $\beta$  –распределения.

Две наиболее распространенные формулы, применяемые в технике, – треугольное распределение и уже рассмотренное бета-распределение.

В методе применяется следующая формула расчета средневзвешенного времени операции:

$$t_E = \frac{(t_O + 4t_M + t_P)}{6},$$

где  $t_M$  – наиболее вероятное время операции,  $t_O$ – оптимистичное время операции,  $t_P$  – пессимистичное время операции.

Треугольное распределение, в свою очередь, выглядит следующим образом:

$$t_E = \frac{(t_O + t_M + t_P)}{3}.$$

Стоит отметить следующие замечания по работе метода:

1. Техника по своему методу занижает предполагаемую продолжительность выполнения проектной задачи. Увеличение числа одновременно выполняемых работ увеличивает размер ошибки.

2. Разброс вероятности по критическому пути увеличивается.

Техника не воспринимает существующие ограничения на ресурсы и действия руководителя, который стремится обеспечить проектный результат в назначенные сроки. Чтобы применение инструмента дало лучший результат, необходимо допустить, что все случайные величины продолжительностей работ критического пути независимы.

## 4 СОСОМО

Constructive Cost Model и ее производные – одни из самых популярных моделей оценки трудоемкости, которые применяются для оценки трудоемкости создания программного обеспечения [Мицель, 2006]. В рамках модели СОСОМО существуют три последовательных уровня, различающиеся набором используемых параметров, который расширяется при переходе с одного уровня на другой, и степенью точности входящих данных:

- предварительная модель;
- предпроектная модель;
- детальная модель.

Предварительная модель подходит для быстрых оценок на ранних стадиях разработки ПО, когда некоторые факторы невозможно учесть, поскольку вначале они еще не определены. Предпроектная модель (средний уровень) уже учитывает эти факторы. Детальная модель, помимо дополнительных факторов, учитывает влияние отдельных фаз проекта на его общую стоимость.

Модель СОСОМО основана на простой формуле регрессии, параметры которой обусловлены отраслевыми данными и характеристиками рассматриваемого проекта. Расчет трудоемкости проекта производится в человеко-месяцах, базовая формула имеет вид:

$$PM = A \times SIZE^E \times \prod_{i=1}^n EM_i,$$

где  $A = 2,94$ ,  $E = B + 0,01 \times \sum_{j=1}^5 SF_j$ ,  $B = 0,91$ .  $SIZE$  –  $10^3$  частей готового продукта,  $EM_i$  – множители трудоемкости,  $SF_j$  – факторы масштаба,  $n = 7$  для предварительной оценки,  $n = 17$  – для детальной оценки.

Как видно из формулы, одним из основных показателей, влияющих на результат расчета, является размер программного продукта, измеряемый тысячами строк исходного кода. Можно отметить, что здесь речь идет о логических строках.

Множителями  $M$  являются показатели, характеризующие проект и процесс разработки проекта, например, такие как надежность и уровень сложности разрабатываемого продукта, сложность платформы разработки, возможности и опыт персонала и т.д. Из семи параметров для предпроектной модели в дальнейшем образуется семнадцать для детальной. Т.е., к примеру, упомянутый выше показатель процесса разработки проекта детализируется еще в четырех показателях: степень надежности системы, ее уровень сложности, объем соответствующей документации, объем используемых данных. Каждому показателю присваивается определенное значение, которое берется из специальной таблицы.

При применении модели СОСОМО получается оценка трудозатрат в человеко-месяцах. В данной модели в месячную норму заложено 152 человеко-часа.

Недостатками модели COCOMO, по мнению экспертов, является то, что она устаревает и не подходит для оценки трудозатрат на разработку сложных современных программных комплексов. Она хороша для цельных программ, не интегрированных в другие. Современное ПО зачастую разрабатывается с интеграцией в другие программные системы, которые изменяются и дорабатываются. Для таких случаев COCOMO дает не слишком достоверные результаты.

Другим популярным методом на сегодняшний день, пожалуй, является метод COCOMO II (Constructive Cost Model II), использующий большое количество данных из реализованных ранее проектов.

В рамках этой модели оценки трудоемкости проекта и времени, необходимого на его выполнение, определяются тремя способами на разных этапах проекта.

На самых ранних этапах, когда известны только общие требования, проектирование еще не начиналось, используется модель состава приложения. В ее рамках трудоемкость проекта оценивается в человеко-месяцах по формуле

$$Eff = A - SIZE,$$

где *SIZE* представляет собой оценку размера в терминах экранов, форм, отчетов, компонентов и модулей будущей системы; коэффициент *A* учитывает возможное переиспользование части компонентов и производительность разработки, зависящую от опытности команды и используемых инструментов.

## 5 Заключение

Рассмотренные модели имеют общее, по сути, содержание, как структурное, так и организационное. Для увеличения точности прогнозирования требуется разбивать работу над проектом на максимально дробные составляющие для минимизации рисков упустить из виду особенности выполнения работы или взаимосвязь с другими работами. По своей организации модели планирования все чаще коррелируют с современными условиями гибкой организации планирования работы над проектом: ставка делается на небольшой горизонт прогнозирования, но в рамках этого горизонта проект прорабатывается очень детально. К тому же в таком варианте есть возможность учесть историю работы на предыдущем этапе, или работу над похожим проектом в целом.

Следовательно, можно сделать вывод о необходимости разработки модели, имеющий удобное и наглядное представление в виде сетевого графика и использовать динамическую информацию, получаемую через обратную связь путем измерений показателей разработки проекта. Также



в модель необходимо заложить возможность оценки нового проекта по текущему или уже созданному. Такой вариант необходим ввиду того, что подход “разработка проекта на основании подобного решения” в настоящее время очень часто применяется, т.к. потенциально несет в себе сокращение издержек производства и минимизации рисков.

### Список литературы

- [Абрамова, 2007] Абрамова И.Г. Управление проектом на основе сетевых моделей // Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара. 2007, 58 с.
- [Ефимов, 2015] Ю. В. Ефимов Оценка трудоемкости сложных объектов на основе регуляризирующего Байесовского подхода // Управление предприятиями в условиях нестабильности и неопределенности №12, -2015., С. 88-92.
- [Зуб, 2014] Зуб, А. Т. Управление проектами: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. Т. Зуб. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 422 с.
- [Клиффорд, 2003] Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсон. Управление проектами: Практическое руководство / Пер. с англ. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2003. – 528 с.
- [Леви, 1963] Ф. Леви, Г. Томпсон, Дж. Уист. Введение в метод критических путей, Industrial Scheduling, edited by John F., Muth and Gerald L. Thompson, copyright 1963, p.335
- [Мазур, 2003] Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогте Н.Г. Управление проектами: Учеб. пособие для вузов / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогте; Под общ. ред. И.И. Мазура. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2001. – 574 с.
- [Мицель, 2006] А.А. Мицель, К.А. Шелковников, Н.А. Истомина. Методы оценки трудоемкости проектов по созданию программных систем. Доклады томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006. - С. 91-95.
- [Новиков, 2007] Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. – М.: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.

## AN OVERVIEW OF LABOR INTENSITY EVALUATION TECHNIQUES IN PRODUCTION

Romanov A.A. ([romanov73@gmail.com](mailto:romanov73@gmail.com))

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The paper describes an overview of methods that evaluate labour-intensity in production processes. We will try to identify the requirements for determining the initial information, factors affecting the accuracy of the final assessment, the complexity of constructing the labor-intensity model.

**Keywords:** planning, network models, production.

## ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ 3D-МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ<sup>1</sup>

Похилько А.Ф. (*paf\_54@mail.ru*)

Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

Цыганков Д.Э. (*d.tsyg@mail.ru*)

Ульяновский механический завод, Ульяновск

В настоящей работе описывается подход к достижению большей информативности геометрической 3D-модели на этапе технического проектирования за счет отображения конструкторской структуры проектируемого изделия в дереве построения его 3D-модели.

**Ключевые слова:** конструкторский замысел, геометрическая 3D-модель, семантическая полнота, структура изделия, CAD-система

### 1 Введение

Развитие САХ-систем под эгидой методологии Concurrent Engineering упрочнило [Tsygankov et al, 2015] положение 3D-моделей в жизненном цикле изделия (ЖЦИ) [Губич и др., 2010], прежде всего, на стадии опытно-конструкторских работ (ОКР) [Кондратьев и др., 2015], вследствие чего, последние являются отображением изделия в плане его конструкции –важнейшей проектной информацией этапа технического проектирования, отображаемой в CAD-системах следующим образом:

$$CAD: \text{Констр(Изд)} \rightarrow \text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D}, \quad (1)$$

где  $\text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D}$ , Констр(Изд) – это 3D-модель проектируемого изделия и его конструкция соответственно.

### 2 Представление 3D-геометрии в CAD-системах

#### 2.1 Конструктивный элемент геометрии

Все современные CAD-системы основаны на двух технологиях:

1. Конструктивной блочной геометрии (*Constructive Solid Geometry, CSG*);

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-47-732138).

## 2. Граничного представления (Boundary Representation, B-Rep).

Технология CSG определяет 3D-геометрию как результат выполнения булевых операций (объединения, вычитания, пересечения) над 3D-примитивами, а в рамках технологии B-Rep визуализируются только те геометрические элементы, которые образовались и сохранились после выполнения всех булевых операций.

Работающие по такому принципу САПР обеспечивают технологию объектно-ориентированного конструирования (Feature-based Modeling), согласно которому, структурной единицей геометрической 3D-модели является конструктивный элемент геометрии (КЭГ, feature, «фьючерс»), описываемый в работе [Дударева, 2007] как «объект с предопределенным поведением и фиксированной структурой данных ...». 3D-модель изделия представляет собой совокупность таких КЭГ:

$$CAD: \text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D} = \sum_{i=1}^n \text{КЭГ}_i, \quad (2)$$

где  $\text{КЭГ}_i$  – это  $i$ -ый конструктивный элемент геометрии, участвующий в построении  $\text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D}$ .

Построение КЭГ в CAD-системе обеспечивается *базовыми операциями* – простейшими операциями, предоставляемыми ее функционалом.

### 2.2 Дерево построения 3D-модели

В CAD-системах 3D-модель, как система КЭГ согласно выражению (2) является лишь «*следствием*» выполнения базовых операций (БО) [Петров, 2001], упорядоченных в «*дерево построения*» – последовательность взаимосвязанных БО, определяющих результирующую геометрию, т.е.:

$$CAD: \bigcup_{i=1}^n \text{БО}_i \rightarrow \text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D}, \quad (3)$$

где символ «*объединение*» означает последовательность выполнения БО, формирующую проектный маршрут в виде упорядоченного набора БО, обеспечивающего построение конкретной 3D-модели.

Каждая БО описывается набором параметров  $\{пар_k\}$ , по задаваемым значениям которых формируется результирующих КЭГ. Формируемый одной БО класс КЭГ имеет *смысловое подобие*, относимое **только** к их смыслу внутри данной САПР, являясь для пользователя абстракцией.

Формирование 3D-геометрии на основе дерева построения также называется термином «*Иерархическая параметризация*».

## 3 Информативность геометрической 3D-модели

Информативность 3D-модели изделия на этапе ОКР заключается в отображении его конструкции, что является основной задачей CAD-системы; проектное решение в виде геометрической 3D-модели обладает законченной конструкцией:  $\text{Мод}_{\text{Изд}}^{3D} = \text{Констр}(\text{Изд})$ . При этом, проектные данные, отображаемые 3D-моделью, как отмечается в книге [Варакин,

2009], содержатся именно в БО, составляющих ее структуру – дерево построения 3D-модели:

$$\text{Дер}_{\text{Изд}}^{3D} : \bigcup_{i=1}^n \text{БО}_i \rightarrow \text{Констр(Изд)}, \quad (4)$$

где  $\text{Дер}_{\text{Изд}}^{3D}$  – это дерево построения 3D-модели изделия в САД-системе.

Наибольшая информативность 3D-модели может обеспечиваться отображением функциональной структуры изделия (ФСИ), которую Национальный стандарт Российской Федерации – ГОСТ Р 53394-2017 определяет как «структуру, состоящую из элементов, описывающих функции – *функциональных элементов (ФЭ)*, и связей между ними ...». ФСИ не содержит в себе подробностей технической реализации изделия, отображая только номинальную функциональность; ФСИ формируется в САЕ-системах. Проектирование конфигурируемых шаблонов изделий, определяющих основные требования к функциональной структуре изделия, описывается в работе [Соснин и др., 2014].

Каждый ФЭ однозначно верно воспринимается в плане его смысловой наполненности, актуальной в предметной области проектируемого изделия, что детально рассматривается в работе [Цыганков и др., 2015]. На основе физического смысла выделяются атрибуты ФЭ, определяющие его 3D-геометрию [Евгенов и др., 2015].

## 4 Структурно-семантическое представление 3D-модели

### 4.1 Отображение ФСИ в дереве построения 3D-модели

Структурно-семантическое представление 3D-модели, заключаемое в отображении ФСИ в дереве ее построения основано на соответствии между функциональной структурой изделия (как системы ФЭ) и 3D-модели (как набора КЭГ), в виде биективного отображением изделия деревом построения 3D-модели, т.е.:

$$\text{Дер}_{\text{Изд}}^{3D} = \{ \text{МкОб}_i | \text{МкОб}_i \rightarrow \text{ФЭ}_j, i = \overline{1, n} \} \quad (5)$$

где  $n$  – это количество ФЭ в проектируемом изделии,  $\text{МкОб}$  – это т.н. «семантический макрообъект», 3D-образ которого соответствует строго одному ФЭ:

$$\text{МкОб}_i \xrightarrow{\text{CAD}} \text{ФЭ}_j \in \text{ФСИ}.$$

Построение такого макрообъекта обеспечивается семантической макрооперацией (СМО):

$$\text{Дер}_{\text{Изд}}^{3D} : \text{СМО}_i \xrightarrow{\text{CAD}} \text{МкОб}_i \quad (6)$$

определяемой как:

$$\text{СМО}_i = \bigcup_{j=1}^n \text{БО}_j, \quad (7)$$

т.е.  $\text{МкОб}$  – это последовательность упорядоченно выполняющихся БО, формирующих результирующий 3D-образ ФЭ. Обобщение БО основано на смысловой ориентации результата выполнения  $\text{МкОб}$ .

Схема предлагаемого метода отображению функциональной структуры проектируемого изделия в дерево построения его 3D-модели в CAD-системе представлена на рисунке 1.

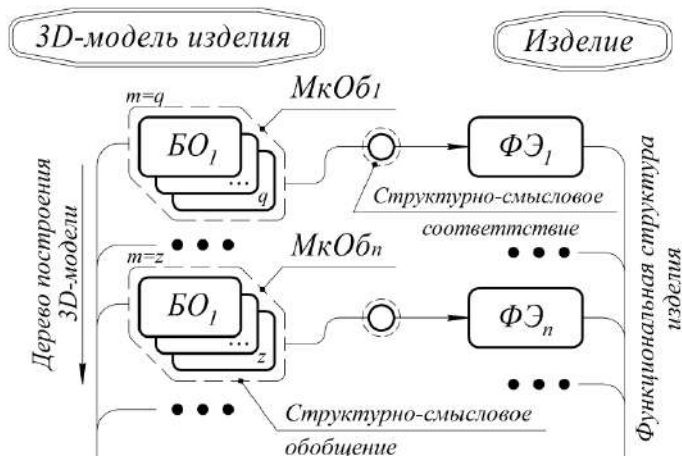


Рисунок 1 – Отображение ФСИ в дерево построения 3D-модели

Основная идея метода структурного соответствия заключается в *информационно-смысловом обобщении* базовых операций CAD-системы в соответствии с (5) до уровня **семантического макрообъекта (МкОб)**. МкОб обеспечивает построение 3D-образа ФЭ, с четким смысловым соответствием  $МкОб \rightarrow ФЭ$ , а это позволяет перейти от оперирования абстрактными БО в процессе конструирования в CAD-системе к реальным смысловым единицам, формирующим структуру будущего изделия для его однозначно верного восприятия.

#### 4.2 Смысловое подобие проектных решений

Результатом выполнения СМО является класс геометрических 3D-образов функциональных элементов изделия. Т.к.  $СМО_i = \delta(par_1...par_n)$ , где  $par_k$  – это  $k$ -ый параметр  $i$ -ой СМО, соответствующий реальным техническим характеристикам текущего ФЭ, то сформированные 3D-образы отличаются друг от друга как геометрией, так и структурой, при этом оставаясь подобными по более высокому критерию – «*смысловому подобию*», применительно к техническим объектам определяемым, прежде всего, функциональным назначением конструкторского решения.

Каждая СМО, таким образом, обеспечивает формирования класса семантически подобных 3D-образов ФЭ, что представлено на рисунке 2.

На данном рисунке видно, что исходные значения конструкторских параметров  $Знач(par_k)$  определяют **конструкцию изделия** – экземпляр его технической материализации, которая, в свою очередь, может быть

идентичной для различных наборов исходных данных. Восстановление логики формирования такой 3D-модели традиционными методами в CAD-системе не представляется возможным.

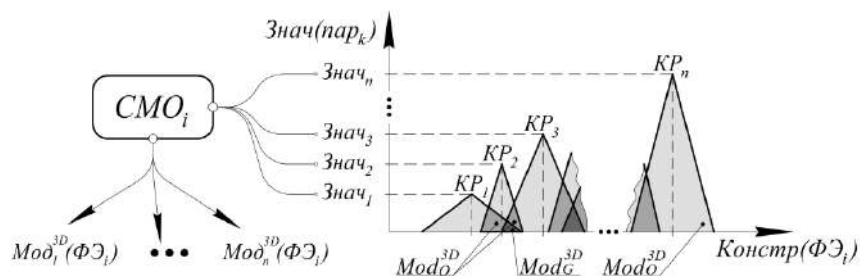


Рисунок 2 – Структурное соответствия между функциональной структурой

Структурно-семантическое представление 3D-модели позволяет визуализировать не только «экземпляр» конструкторского решения (в виде  $Mod_{изд}^{3D}$ ), но и класс таких решений (в виде определенной ФСИ), предоставляя функционал для их редактирования с сохранением структурной целостности и без утраты смысловой наполненности.

Модульность алгоритма реализации СМО реализуется системой продукционных правил вида «ЕСЛИ – ТО», формируя на выходе, как правило, несколько решений, удовлетворяющих исходным данным. В этом заключается «нечеткость» СМО, которая, вместе с логическими переменными реализуют творческий аспект инженерной деятельности.

## 5 Заключение

Обобщение базовых операций CAD-системы до уровня смысловых макрообъектов, фиксируемых в дереве построения 3D-модели изделия, повышает информативность всей геометрической 3D-модели на этапе конструкторского проектирования. Это достигается за счет отображения функциональной структуры изделия как системы параметров и атрибутов ее характеризующих, а также возможностью управлять 3D-геометрией посредством обращения к соответствующим макрообъектам, оперируя, прежде всего, терминами и понятиями, актуальными в предметной области проектируемого изделия – на профессиональном языке инженера.

Предлагаемый метод представления 3D-модели в САПР обеспечивает переход при аккумулировании проектных решений с уровня «Деталь» до уровня «функциональный элемент», который обладает конструкторской завершенностью, что в итоге заметно облегчает повторное использование проектных данных.

## Список литературы

- [Tsygankov et al, 2015] Tsygankov, D. et al. The Design Process Structural & Logical Representation in the Concurrent Engineering Infocommunication Environment, R. Curran et al. (eds.) Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems – Proceedings of the 22nd ISPE Inc. International Conference on Concurrent Engineering, July 20-23, 2015, IOS Press, Amsterdam, 2015, pp. 595-602.
- [Губич и др., 2010] Губич, Л.В. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения: проблемы и решения / Л.В. Губич, И.В. Емельянович [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 286 с.
- [Кондратьев и др., 2015] Кондратьев, С.Е. Автоматизация процессов управления конструктивной электронной структурой изделия / С.Е. Кондратьев, Н.О. Кожевников, О.В. Ульянин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 143-146.
- [Дударева, 2007] Дударева, Н.Ю. SolidWorks 2007 / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 1328 с.
- [Петров, 2001] Петров, А.П. Основы САПР в машиностроении : Учебное пособие / А.П. Петров. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2001. – 139 с.
- [Варакин, 2009] Варакин, А.А. Использование САПР SolidWorks в конструкторско-технологическом проектировании электронных средств : метод. указания. – Ч. 1. Основы создания трехмерных моделей / А.А. Варакин. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 52 с.
- [Соснин, 2014] Соснин, П.И. Структурное проектирование конфигурируемых шаблонов авиационных деталей / П.И. Соснин, О.Э. Чоракаев // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 4 (38). – С. 99-107.
- [Цыганков и др., 2015] Цыганков, Д.Э. Представление процесса проектирования на базе обобщения элементарных операций до уровня семантических единиц / Д.Э. Цыганков, А.Ф. Похилько // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 3. – С. 81-88.
- [Евгениев и др., 2015] Евгениев, Г.Б. Метод генерации 3D-моделей в производственных базах знаний / Г.Б. Евгениев, А.А. Кокорев, М.В. Пиримяшкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 4 (661). – С. 38-48.

# INCREASING THE INFORMATIVITY OF THE 3D MODEL BASED ON THE STRUCTURAL-SEMANTIC REPRESENTATION

Pokhilko A.F. (*paf\_54@mail.ru*)  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

Tsygankov D.E. ( *d.tsyg@mail.ru*)  
Ulyanovsk Mechanical Plant, Ulyanovsk

The paper deals with an approach to achieving greater informativity of the geometric 3D model at the stage of technical design by present the design structure of the designed product in the creation tree of its 3D model.

**Keywords:** design intent, geometry 3D-model, semantic fullness, design product structure, CAD-system.



## СЕКЦИЯ 2 НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ И МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

УДК 004.93

### ИНТЕРАКТИВНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ

Ананьев В.В. (*negatorhangkok@gmail.com*)

Коновалов В.А. (*vakonov1993@gmail.com*)

Петрова С.Ю. (*svetlana.petrova@novsu.ru*)

Новгородский государственный университет им.

Ярослава Мудрого, Великий Новгород

В работе рассматривается пример решения уникальной задачи детектирования и распознавания целевых объектов в видеопотоке, полученного с камер, расположенных на платформе квадрокоптера. В задаче использовалась система YOLO и методика PASCAL VOC. Результат – присутствует небольшое количество ложноположительных детектирований, и низкий показатель mAP, что говорит о недостаточной чувствительностью используемого метода детектирования.

**Ключевые слова:** распознавание образов, потоковое видео, неструктурированные данные

#### 1 Введение

Задача детектирования и распознавания целевых объектов в видеопотоке представляет собой актуальную задачу имеющую множество вариантов прикладного использования. В частности, задача распознавания номерных знаков автомобиля, для идентификации владельца. Уникальность рассматриваемой задачи заключается в том, что камера с которой приходит видеопоток располагается на подвижной автономной платформе. В качестве автономной подвижной платформы использовался беспилотный летательный аппарат (далее дрон).

## 2 Цели и задачи

Целью работы являлось создание системы детектирования объектов в условиях ограничения по времени распознавания, ограничения в вычислительной мощности системы распознавания образов и ограничений по качеству видеопотока, полученного при движениях дрона. То есть в видеопотоке возможны включения специфичных ракурсов объектов. Для достижения поставленной цели было выделено три задачи: 1) разработка программного модуля предварительного детектирования объектов в видеопотоке; 2) разработка программного модуля детектирования транспортных средств; 3) разработка программного модуля по распознаванию номеров автомобилей. Предварительное детектирование объектов необходимо для изменения местоположения дрона и улучшения видимости номерных знаков на транспортных средствах. Номерные знаки имеют стандартизированный вид, поэтому для их распознавания можно использовать аналитический подход. В противоположность им, транспортные средства имеют большую вариативность внешних признаков: разные цвета и формы. Была выдвинута гипотеза, что для детектирования транспортных средств можно использовать один из алгоритмов машинного обучения.

## 3 Методы исследования

Для детектирования объектов на изображении существует ряд современных подходов, основанных на сверточных нейронных сетях. По оценкам специалистов, самой быстрой системой детектирования объектов является YOLO, которая была создана в 2015г. и описывается в [Redmon, et al., 2015a], [Redmon, et al., 2015b]. В основе этой системы лежит задача регрессии ограничивающих прямоугольников. Единственная сверточная сеть одновременно находит ограничивающие прямоугольники и вероятности принадлежности к классам у объектов, содержащихся внутри прямоугольников.

Для системы YOLO входное изображение представляется в виде сетки размерностью  $S \times S$ . Если центр объекта падает в центр ячейки решетки, то именно эта ячейка ответственна за детектирование этого объекта. Каждая ячейка предсказывает  $N$  ограничивающих прямоугольников и степень уверенности в наличии объекта внутри них. Степень уверенности подразумевает не только наличие объекта, но и то, насколько точно определен ограничивающий прямоугольник. Уверенность рассчитывается по формуле (1):

$$Pr(Object) \cdot IOU_{pred}^{truth}, \quad (1)$$

где  $IOU$  – мера Жаккара [Jaccard, 1901].

Каждый ограничивающий прямоугольник описываются пятью параметрами:  $x$ ,  $y$ ,  $w$ ,  $h$ , и уверенностью.  $(x, y)$  обозначают координаты центра прямоугольника относительно границ ячейки,  $w$  и  $h$  – ширину и высоту прямоугольника относительно всего изображения. Каждая ячейка также предсказывает  $C$  условных вероятностей  $Pr(Class_i | Object)$  принадлежности объекта к классам при условии, что в ячейке есть объект. На выходе системы YOLO получается массив размерностью  $S \times S \times (N * 2 + C)$ . Конечная вероятность наличия объекта в прямоугольнике вычисляется по формуле (2):

$$Pr(Class_i | Object) \cdot Pr(Object) \cdot IOU_{pred}^{truth} = Pr(Class_i) \cdot IOU_{pred}^{truth}. \quad (2)$$

Все слои системы YOLO используют в качестве активационной функции Leaky ReLU, последний слой использует линейную активационную функцию. Для подсчета функции стоимости используется сумма квадратов. Ошибка для локализации имеет одинаковый вес с ошибкой классификации, хотя многие ячейки изображения не содержат никаких объектов. Это приводит к очень быстрому уменьшению уверенности к 0, и градиент при обучении от этих клеток часто превосходит градиент от клеток, которые содержат объект. Это может привести к нестабильности модели. Чтобы нейтрализовать эту проблему, стоимость от регрессии координат ограничивающих прямоугольников увеличивается, а стоимость от уверенности для прямоугольников, которые не содержат объект, уменьшается. Для этого используются 2 параметра  $\lambda_{coord} = 5$  и  $\lambda_{noobj} = 0,5$ .

Функция стоимости также не учитывает разницу между большими и маленькими прямоугольниками. Поэтому вместо того, чтобы напрямую предсказывать ширину и высоту, система YOLO предсказывает квадратный корень из них.

Каждая ячейка ответственна сразу за несколько объектов. Нужно, чтобы каждый предиктор отвечал только за свой объект. Предиктор назначается ответственным за объект на основании того, какой ограничивающий прямоугольник имеет максимальный показатель меры сходства Жаккара с истинным ограничивающим прямоугольником. Это ведет к специализации предикторов ограничивающих прямоугольников. Каждый из них тренируется для объектов определенного размера и соотношения сторон.

Общая функция стоимости считается следующим образом:

$$\begin{aligned}
& \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \tilde{1}_{ij}^{obj} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] + \\
& + \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \tilde{1}_{ij}^{obj} [(\sqrt{w_i} - \sqrt{\hat{w}_i})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i})^2] + \\
& + \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \tilde{1}_{ij}^{obj} (C_i - \hat{C}_i)^2 + \\
& + \lambda_{noobj} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \tilde{1}_{ij}^{noobj} (C_i - \hat{C}_i)^2 + \\
& + \sum_{i=0}^{S^2} \tilde{1}_i^{obj} \sum_{c \in class} (p_i(c) - \hat{p}_i(c))^2,
\end{aligned} \tag{3}$$

где  $\hat{1}_i^{obj}$  обозначает функцию, которая равна 1 если объект есть в ячейке  $i$ , и равна 0, если его нет;  $\hat{1}_{ij}^{obj}$  обозначает функцию, которая равна 1 если предиктор для  $j$  прямоугольника отвечает за объект в ячейке  $i$ , и равна 0, если это не так.

Отметим, что функция стоимости штрафует стоимость для классификации только в том случае, если в ячейке есть какой-нибудь объект.

Общепризнанной практикой для оценки качества работы систем детектирования является вычисление mAP [Pascal, 2017a], [Pascal, 2017b]. В основе mAP лежит подсчет средней точности детектирования для объектов одного класса. Средняя точность подсчитывается для каждого класса отдельно, а затем высчитывается их среднее арифметическое. Среднее арифметическое средних точностей для каждого из классов и будет являться mAP. Для вычисления средней точности была использована методика PASCAL VOC 2012 [Everingham et al., 2017], [Rastegari et al., 2016]. На первом шаге этой методики все объекты полученный в результате детектирования видеопотока ранжируются в порядке убывания уверенности алгоритма в правильности детектирования. На втором шаге каждому детектированному объекту определяется класс: истинно-положительный объект или ложноположительный объект. Под истинно-положительным объектом понимается, объект, который является целью детектирования. Под ложноположительным объектом понимается объект, который не является целью детектирования. Ложноположительными будут считаться те объекты (прямоугольные области), которые при сравнении с истинным ограничивающим объектом (прямоугольником) имеют показатель бинарной меры сходства Жаккара  $K_J < 0,5$ . Он считается следующим образом:

$$K_J = \frac{P(B_p \cap B_t)}{P(B_p \cup B_t)}, \tag{4}$$

где  $K_J$  – мера сходства Жаккара,  $P$  – площадь;  $B_p$  – ограничивающий прямоугольник, выданный алгоритмом детектирования,  $B_t$  – истинный ограничивающий прямоугольник.

Также если несколько ограничивающих прямоугольников указывают на один и тот же объект, то только один из них считается истинно-положительным, остальные – ложноположительными.

На третьем шаге методики вычисляется полнота  $\rho$  и точность  $\lambda$  для каждого объекта детектирования в ранжированном списке. Вычисления проводятся по формулам (5) и (6) соответственно.

$$\rho = \frac{TP}{TP+FN}, \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{TP}{TP+FP}, \quad (6)$$

где  $TP$  – истинно-положительные результаты;  $FP$  – ложноположительные результаты;  $FN$  – ложноотрицательные результаты.

Четвертый шаг, на основе полученного массива строится приближенный график зависимости  $p$  от  $r$ . Обозначим за  $p = f(r)$  исходную функцию зависимости точности от полноты, определенную на промежутке  $[0; 1]$ , а за  $\tilde{p} = \tilde{f}(r)$  – аппроксимирующую функцию, определенную на промежутке  $[0; 1]$ . Тогда аппроксимирующая функция вычисляется следующим образом:

$$\tilde{f}(r) := m \mathbb{E}_{r' \in [r; 1]} f(r'). \quad (7)$$

Аппроксимирующая функция будет монотонно убывать, а ее график будет иметь ступенчатый вид. Аппроксимация производится для упрощения подсчета интеграла от исходной функции.

В конце методики вычисляется средняя точность как площадь под графиком зависимости точности от полноты. Полученная средняя точности будет относиться к объектам только одного класса, таким образом вычисления необходимо произвести также для всех остальных классов. Затем для нахождения mAP нужно посчитать среднее арифметическое полученных средних точностей для классов.

## 4 Результаты исследования

Для проверки гипотезы был создан прототип системы. Входными данными были небольшие видео, полученные с камеры горго. На рисунке 1 изображен пример работы алгоритма с одним из кадров входного видеопотока. На нем отображены ограничивающие прямоугольники и степень уверенности в правильности детектирования на основе показателя mAP.



Рисунок 1 – Пример работы алгоритма детектирования и категоризации объектов

Из рисунка видно, что часть целевых объектов не попало в область детектирования, а часть детектированы не полностью. Что является неудовлетворительным результатом.

На рис. 2 изображен график зависимости точности от полноты. При сравнительно небольшом значении достигнутой полноты точность обрывается.

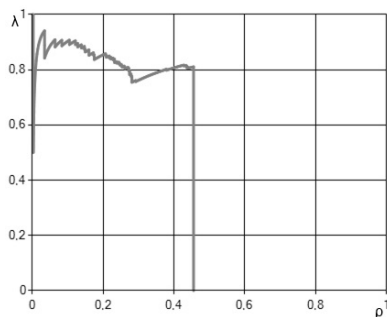


Рисунок 2 – График зависимости точности от полноты

## 5 Заключение

Подсчитанное значение mAP для данного видео составило 32,78%. Это свидетельствует о том, что для данной задачи необходимо снизить порог степени уверенности, ниже которого детектирования игнорируются. Также возможным объяснением столь низкого результата является наличие на изображении большого числа близко расположенных друг с другом автомобилей, что затрудняет их детектирование в системе YOLO.

Так как YOLO представляет входное изображение в виде сетки, возможным решением является увеличение числа ячеек, на которое разбивается входное изображение. Однако, характер графика указывает на сравнительно небольшое количество ложноположительных

детектированных. Низкий показатель mAP в данном случае связан с недостаточной чувствительностью метода детектирования. Также большая часть ложноположительных детектирований являются таковыми из-за особенностей методики подсчета mAP – повторные детектирования того же объекта считаются ложноположительными.

Среднее время на обработку одного кадра из видео составило 1,744 секунды. Скорость работы сети можно улучшить путем сокращения количества сверточных слоев. Чтобы потеря в качестве детектирований была не слишком большой, можно увеличить обучающую выборку для сети.

### Список литературы

- [**Everingham et al., 2017**] Everingham M. Winn J. The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2012 (VOC2012) Development Kit [Электронный ресурс] 2017. URL: [http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/html/doc/devkit\\_doc.html](http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/html/doc/devkit_doc.html)
- [**Jaccard, 1901**] Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. 1901. V. 37. Bd. 140. S. 241—272.
- [**Rastegari et al., 2016**] Rastegari M., Ordonez V., Redmon J., Farhadi A. XNOR-Net: Image Net Classification Using Binary Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс] 2016. URL: <https://pjreddie.com/media/files/papers/xnor.pdf>
- [**Redmon, et al., 2015a**] Redmon J, Angelova A. Real-Time Grasp Detection Using Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс] // IEEE Xplore: 02 July 2015 . URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7139361/>
- [**Redmon, et al., 2015b**] Redmon J., Farhadi, A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger [Электронный ресурс] University of Washington, Allen Institute for AI, 2016. URL: <http://pjreddie.com/yolo9000/>
- [**Pascal, 2017a**] The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge [Электронный ресурс]. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11263-009-0275-4>.
- [**Pascal, 2017b**] The PASCAL Visual Object Classes Challenge. Development Kit [Электронный ресурс]. – URL: [http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/devkit\\_doc.pdf](http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/devkit_doc.pdf).

## INTERACTIVE DETECTION OF INTENDED TARGET OBJECT FROM VIDEO STREAM

Ananев V.V. ([negatorhangkok@gmail.com](mailto:negatorhangkok@gmail.com))

Kononov V.A. ([vakononov1993@gmail.com](mailto:vakononov1993@gmail.com))

Petrova S.Y. ([Svetlana.petrova@novsu.ru](mailto:Svetlana.petrova@novsu.ru))

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (NovSU),  
Veliky Novgorod

The paper represents an example of solving a unique problem of detection and recognition of target objects in the video stream, downloaded from video camera located on the drone platform. The data obtained as a result of testing the prototype showed low results in the detection of objects. In this case, to ensure the quality of detections, we propose to increase the learning sample for the network.

**Keywords** automatic cognition, streaming video, unstructured data.



# ПРОГРАММНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЗВУКОВ ПО ЦВЕТОВОЙ ГАММЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ<sup>1</sup>

Никитин Н.А. (*nikitinnikitaand@gmail.com*)

Орлова Ю.А. (*yulia.orlova@gmail.com*)

Розалиев В.Л. (*vladimir.rozaliev@gmail.com*)

Волгоградский государственный технический  
университет, Волгоград

Данная работа посвящена разработке и апробации программы генерации музыкальных композиций по изображению с использованием искусственных нейронных сетей. Работа содержит описание перехода от цветовых характеристик к музыкальным, обоснование выбора и описание рекуррентной нейронной сети. Описан выбор технологии реализации нейронной сети, а также результаты проведения эксперимента.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, рекуррентная нейронная сеть, сети с долгой краткосрочной памятью, Theano, TensorFlow, Lasagne, Keras, MXNet, Python, схема И. Ньютона

## 1 Введение

С тех пор как музыке стали записывать на бумаге в виде нотных знаков, стали появляться оригинальные «способы» ее сочинения. Одним из самых первых методов алгоритмической композиции стал способ сочинения музыки, придуманный Моцартом – «Музыкальная игра в кости» [Фазылова, 2014]. Первое компьютерное музыкальное произведение – «Illiac Suite for String Quartet» – было создано в 1956 году пионерами применения компьютеров в музыке – Лежарен Хиллер и Леонард Айзексон [Ariza, 2012]. В этом произведении использованы почти все главные методы алгоритмической музыкальной композиции: теория вероятностей, марковские цепи и генеративная грамматика.

---

<sup>1</sup>Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 16-47-340320, 17-07-01601)

В настоящее время компьютерная музыка может применяться во многих отраслях: создание музыки для компьютерных игр, рекламы и фильмов. Для создания фоновых музыкальных композиций в компьютерных играх и рекламе, компании нанимают профессиональных композиторов или покупают права на уже написанные музыкальные произведения. Однако в таком жанре, требования к музыкальной композиции не велики, а значит, данный процесс можно автоматизировать, что позволит компаниям снизить расходы на их сочинение. Также, генерацию звуков по изображению можно применить в образовательном процессе [Черешнюк, 2015]. Взаимодействие музыки и изобразительного искусства в процессе интегрированной образовательной деятельности с детьми дошкольного возраста может осуществляться в форме сочетания восприятия произведений музыкального и изобразительного искусства на основе общности их настроения, стиля, жанра, что способствует развитию музыкального восприятия у дошкольников [Выготский, 2008].

Наибольших успехов автоматизация процесса написания и создания музыки достигла сравнительно недавно (в последние десятилетия), однако по большей части связана с изучением и повторением различных музыкальных стилей [Core, 2005]. Поскольку процесс создания музыки сложно формализуем, то для программного создания композиций лучше всего подходят искусственные нейронные сети, так как они позволяют выявить связи, которые не видит человек [Mazurowski, 2012]. Помимо этого, для снижения роли пользователя-композитора в генерации музыкальных произведений, было принято решение брать часть музыкальных характеристик с изображения.

## **2 От цветовых характеристик к музыкальным**

Для снижения роли пользователя-композитора в генерации звуков, часть характеристик музыкального произведения получается путём анализа цветовой гаммы изображения. Таким образом, характер полученной музыкальной композиции будет соответствовать входному изображению. Данная особенность делает возможным применение данного подхода для создания фоновых музыкальных произведений в компьютерных играх, рекламе и фильмах.

Ключевыми характеристиками музыкального произведения является его тональность и темп. Именно эти параметры определяются путём анализа цветовой гаммы изображения. Для начала определим соотношение цветовых и музыкальных характеристик [Caivano, 1994] (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношение цветовых и музыкальных характеристик

Цветовые характеристики	Музыкальные характеристики
Оттенок (красный, синий, жёлтый...)	Нота (до, до-диез, ре, ре-диез, ми, ми, фа, фа-диез, соль, соль-диез, ля, ля-диез, си)
Цветовая группа (тёплый/холодный)	Музыкальный лад (мажор/минор)
Яркость	Октава ноты
Насыщенность	Длительность ноты

Как видно из таблицы 1, тональность произведения определяется двумя цветовыми характеристиками – оттенок и цветовая группа, а темп – яркость и насыщенность. Алгоритм определения тональности опирается на анализ изображения и таблицу 1, состоит из 4 шагов и описан ниже.

Шаг 1. Преобразуем входное изображение из цветового пространства RGB в HSV. Данный шаг позволяет преобразовать изображение к более удобному виду, поскольку HSV пространство уже содержит необходимые характеристики – название цвета (определяется по параметру hue), насыщенность (параметр saturation) и яркость (параметр brightness).

Шаг 2. Анализируя в целом изображение, определяем преимущественный цвет.

Шаг 3. Определяем название и цветовую группу преимущественного цвета.

Шаг 4. Согласно таблице 1 и схеме И. Ньютона определяем тональность произведения (нота и музыкальный лад).

Для определения темпа произведения, необходимо получить яркость и насыщенность (по параметрам saturation и brightness) преимущественного цвета, и рассчитать темп, согласно данным параметрам.

### 3 Выбор нейронной сети для генерации музыкальных композиций

Важной особенностью нейронных сетей прямого распространения (feedforward neural networks) является то, что у данной нейросети есть общее ограничение: и входные и выходные данные имеют фиксированный, заранее обозначенный размер, например, картинка 100×100 пикселей или последовательность из 256 бит. Нейросеть с математической точки зрения ведет себя как обычная функция, хоть и очень сложно устроенная: у нее есть заранее обозначенное число аргументов, а также обозначенный формат, в котором она выдает ответ.

Вышеперечисленные особенности не представляет больших трудностей, если речь идет о тех же картинках или заранее определенных последовательностях символов. Но для обработки любой условно

бесконечной последовательности, в которой важно не только содержание, но и порядок, в котором следует информация, например, текст или музыка необходимо использовать нейронные сети с обратными связями – рекуррентные нейронные сети (RNN). В рекуррентных нейросетях нейроны обмениваются информацией между собой: например, вдобавок к новому кусочку входящих данных нейрон также получает некоторую информацию о предыдущем состоянии сети. Таким образом в сети реализуется «память», что принципиально меняет характер ее работы и позволяет анализировать любые последовательности данных, в которых важно, в каком порядке идут значения.

Однако большой сложностью сетей RNN является проблема исчезающего (или взрывного) градиента, которая заключается в быстрой потере информации с течением времени. Сети с долгой краткосрочной памятью (long short term memory, LSTM) стараются решить вышеупомянутую проблему потери информации, используя фильтры и явно заданную клетку памяти. У каждого нейрона есть клетка памяти и три фильтра: входной, выходной и забывающий. Целью этих фильтров является защита информации. Входной фильтр определяет, сколько информации из предыдущего слоя будет храниться в клетке. Выходной фильтр определяет, сколько информации получают следующие слои. Такие сети способны научиться создавать сложные структуры, например, сочинять тексты в стиле определённого автора или сочинять простую музыку, однако при этом потребляют большое количество ресурсов [Doornbusch, 2014].

Таким образом, для реализации программы автоматизированной генерации музыкальных композиций по цветовой гамме изображений необходимо использовать именно рекуррентные нейронные сети с долгой краткосрочной памятью – RNN LSTM. Именно данный вид нейронных сетей используется для генерации музыкальных композиций в программах Magenta, BachBot и DeepJaz [Brinkkemper, 2015].

#### **4 Описание используемой нейронной сети**

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) имеет циклические или повторяющиеся соединения, которые позволяют сети хранить информацию по входам. Эти связи можно считать похожими на память. RNN особенно полезны для изучения последовательных данных, таких как музыка.

Есть большое количество способов, с помощью которых RNN может соединяться с собой с циклическими соединениями. Наиболее распространенными являются сети с долгой краткосрочной памятью и управляемые рекуррентные нейроны. В обоих случаях сети имеют мультипликативные нейроны, которые защищают их внутреннюю память от

перезаписи, позволяя нейронным сетям обрабатывать более длинные последовательности. В данной работе предполагается использование LSTM. Все рекуррентные нейронные сети имеют форму цепочки повторяющихся модулей нейронной сети. В стандартных RNN этот повторяющийся модуль будет иметь очень простую структуру, например, один слой  $\tanh$ . LSTM также имеют эту цепочку, но повторяющийся модуль имеет более сложную структуру. Вместо того, чтобы иметь один слой нейронной сети, существует четыре, взаимодействующих между собой особым образом [Mikolov, 2010].

Первым шагом в LSTM является решение, какую информацию мы собираемся выбросить из состояния ячейки. Это решение принимается сигмоидным слоем (sigmoid layer). Данный слой смотрит на значение выхода  $h_{t-1}$  и входа  $x_t$ , рассчитывает значение в диапазон от 0 до 1 для каждого состояния ячейки  $C_{t-1}$ . Если слой вернул значений 1, это означает, что данное значение необходимо оставить (запомнить), если 0 – удалить из состояния ячейки. Например, в состоянии ячейки могут храниться характеристики текущего такта – если такт ещё не закончен, то необходимо оставить характеристики в памяти, если идёт работа уже с новым тактом, то необходимо запомнить новые параметры.

Следующим шагом является принятие решения о том, какую новую информацию мы собираемся хранить в состоянии ячейки. Для этого, во-первых, сигмоидный слой принимает решение, какие значения мы будем обновлять. Далее, слой  $\tanh$  создает вектор новых значений кандидата,  $C_t$ , которые могут быть добавлены в состояние.

Следующим шагом является обновление старого состояния ячейки  $C_{t-1}$  в новом состоянии ячейки  $C_t$ . Для этого необходимо умножить старое состояние  $f_t$ , таким образом произведём удаление информации из состояния. Затем необходимо сложить полученное значение и  $i_t * C_t$ , Таким образом получим новые значения кандидатов, масштабируемые значением коэффициента обновления каждого значения состояния.

На последнем шаге необходимо решить, что будет выводить данный слой. Этот вывод будет основан на состоянии ячейки. Сначала пропускаем входное значение через сигмоидный слой, который решает, какие части состояния ячейки необходимо вывести. Затем обрабатываем состояние ячейки с использованием  $\tanh$  (для сдвига значения между -1 и 1), и умножаем его на выход сигмоидного слоя.

Поведение нейронной сети определяется набором весов и смещений, которые имеют каждый узел. Поэтому, для корректной работы нейронной сети необходимо настроить их на некоторое правильное значение. Во-первых, необходимо определить насколько хороший или плохой какой-либо выход согласно входному значению. Это значение называется стоимостью. Как только стоимость получена, необходимо использовать метод обратного

распространения ошибки (backpropagation). По сути, он сводится к вычислению градиента стоимости по отношению к весам (т. е. производной стоимости по каждому весу для каждого узла в каждом слое), а затем необходимо использовать метод оптимизации для корректировки весов для снижения стоимости. В данной работе будем использовать метод градиентного спуска.

Для обучения нейронной сети предполагается подавать на вход вектор, который содержит следующие части [Fernández et al., 2013]:

1. Название ноты: MIDI обозначение текущей ноты. Используется для представления высоты ноты.
2. Время начала включения ноты.
3. Время выключения ноты.
4. Сила (громкость) воспроизведения ноты (velocity).

## 5 Выбор технологии реализации искусственной нейронной сети

Для реализации искусственной нейронной сети был выбран язык программирования Python, поскольку язык является кроссплатформенным, он ориентирован на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Кроме того, данный язык ориентирован на анализ данных, а значит, содержит большое количество библиотек для глубокого обучения.

Для проведения сравнения были выделены следующие критерии: гибкость, масштабируемость, поддержка параллельных вычислений, поддержка вычисления на GPU, скорость разработки. Все рассмотренные библиотеки были оценены по представленным критериям по пятибалльной шкале, где 0 – минимальное значение, 5 – максимальное. Для анализа были взяты следующие библиотеки: Theano, TensorFlow, Lasagne, Keras, MXNet. Результаты сравнения библиотек представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Соотношение цветовых и музыкальных характеристик

	Theano	TensorFlow	Lasagne	Keras	MXNet
Гибкость	5	4	3.5	2	3
Масштабируемость	4	5	4	5	5
Поддержка параллельных вычислений	5	4	5	5	5
Поддержка вычисления на GPU	4	5	4	5	5

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для разработки рекуррентной нейронной сети для генерации музыкальных композиций следует использовать библиотеку Keras, поскольку данная библиотека позволяет работать поверх Theano и TensorFlow, используя их преимущества,

при этом процесс разработки нейронных сетей с использованием данной библиотеки простой и быстрый, что позволяет создавать прототипы для быстрого экспериментирования.

## **6 Описание программы**

Для подтверждения эффективности предложенных алгоритмов генерации звуков по цветовой гамме изображения, была разработана программа на языке Python. На вход программа получает изображение, которое загружает пользователь вручную. Данный способ загрузки изображения был выбран как наиболее простой, так как на данном этапе стоит задача только доказать эффективность предложенных решений. Впоследствии данная программа может быть доработана, согласно условиям применимости к конкретным областям.

После получения пути к изображению от пользователя, программа загружает изображение в память с помощью возможностей библиотеки OpenCV. Преобразование изображения в цветовое пространство HSV также проводится с помощью данной библиотеки. Затем производится анализ изображения и определение тональности и темпа произведения.

После определения тональности и темпа, программа выбирает наиболее подходящую к данной ситуации обученную модель, на основе которой нейронная сеть генерирует (предсказывает) музыкальную композицию. Поскольку, нейронная сеть генерирует композиции в midi формате, последним этапом создания музыкального произведения является преобразование midi формата к mp3. Полученный mp3 файл предлагается пользователю для сохранения.

## **7 Проведение эксперимента**

Программа генерации музыкальных композиций с использованием нейронных сетей была обучена на 29 композициях Людвига ван Бетховена. После обучения был составлен набор из десяти тестовых изображений, имеющих различный тип (абстрактные изображения, пейзажи, города и люди). По всем десяти изображениям были получены и сохранены выходные музыкальные композиции. Данные музыкальные композиции были отправлены на анализ 10 экспертам, которые должны были оценить каждое произведение по следующим критериям: соответствие характеру изображения (по пяти бальной шкале); реалистичность звучания инструмента (фортепьяно или гитара); мелодичность композиции; качество гармонии (аккомпанемента); приятность мелодии для восприятия; цельность композиции; реалистичность/искусственность композиции.

Данные от каждого эксперта были, обработаны, сведены в таблицу 3 и проанализированы.

Таблица 3 – Соотношение цветовых и музыкальных характеристик

Критерий	Среднее значение для всех тестов
Соответствие характеру изображения	4.9
Реалистичность звучания инструмента	3.9
Мелодичность композиции	4.4
Качество гармонии	4.9
Приятность для восприятия	4.6
Цельность композиции	4.5
Реалистичность композиции	4.3

Таким образом, проанализировав оценки всех экспертов и высчитав средние по каждому критерию, можно сделать вывод о том, что фортепьяно на слух экспертов звучит реалистичнее, чем гитара. Также можно сделать вывод о том, что композиция, сгенерированная по абстрактным изображениям, более приятна на слух, чем генерация по пейзажам. В целом общее впечатление от сгенерированных звуков у экспертов положительное. Среди минусов некоторые эксперты выделяют однотипность гармонии, иногда рваность и недостаточную реалистичность произведения, и не достаточную реалистичность гитары.

## 8 Заключение

В ходе выполнения работы было проведено исследование о допустимости применения нейронных сетей для генерации музыкальных композиций. В ходе анализа различных типов и архитектур ИНС был сделан вывод о том, что наиболее подходящей сетью для обработки музыкальной информации являются рекуррентные нейронные сети (RNN), а именно сети с долгой краткосрочной памятью (long short term memory, LSTM). Также, для разработки программы, было выявлено, что следует использовать библиотеку Keras, поскольку данная библиотека позволяет работать поверх Theano и TensorFlow, используя их преимущества, при этом процесс разработки нейронных сетей с использованием данной библиотеки простой и быстрый, что позволяет создавать прототипы для быстрого экспериментирования.

В результате проведения эксперимента, была обучена модель (нейронная сеть) на композициях Баха, а также были сгенерированы композиции по 10 изображениям. Данные композиции были отправлены



на анализ экспертам. В результате анализа экспертных оценок можно сделать вывод о том, что программа генерирует достаточно мелодичные композиции, однако сказывается, что модель была обучена на небольшом количестве произведений только одного автора.

### Список литературы

- [Ariza, 2012] Ariza, C. Two Pioneering Projects from the Early History of Computer-Aided Algorithmic Composition / C. Ariza // Computer Music Journal. – MIT Press, 2012. – №3. – pp. 40-56
- [Brinkkemper, 2015] Brinkkemper, F. Analyzing Six Deep Learning Tools for Music Generation [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.asimovinstitute.org/analyzing-deep-learning-tools-music/> (Дата обращения: 03.07.2017).
- [Caivano, 1994] Caivano, J. L., Colour and sound: Physical and Psychophysical Relations, Colour Research and Application, 12(2), pp. 126-132, 1994
- [Cope, 2005] D. Cope, Computer Models of Musical Creativity, MIT Press, Cambridge, Mass., 2005.
- [Doornbusch, 2014] Doornbusch, P. Gerhard Nierhaus: Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation / P. Doornbusch // Computer Music Journal. - Volume: 34, Issue: 3. – 2014.
- [Fernández et al., 2013] Fernández, J. D., Vico, F. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey / J. D. Fernández, F. Vico // Journal of Artificial Intelligence Research. – № 48. – Málaga, Spain, 2013. – pp. 513-582
- [Mazurowski, 2012] Mazurowski, L. Computer models for algorithmic music composition / L. Mazurowski // Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. – Szczecin, Poland, 2012. – pp. 733–737
- [Mikolov, 2010] Mikolov, T. Recurrent neural network based language model / T. Mikolov, M. Karafiat, L. Burget, J. Cernocky, S. Khudanpur // Proceedings of INTERSPEECH International Speech Communication Association. - vol. 2010, No. 9. – pp. 1045–1048. – 2010
- [Выготский, 2008] Выготский, Л.С. Воображение и творчество в детском возрасте / Л.С. Выготский. – Москва, 2008 // Мышление и речь : сборник / Л.С. Выготский. – Москва : АСТ, 2008. – С. 497-594.
- [Фазылова, 2014] Фазылова, Э.Ф. Системы генерации музыки или как автоматизировать искусство? // Молодёжный научно-технический вестник. – 2014. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/723360.html>. (Дата обращения: 20.03.2017).
- [Черешнюк, 2015] Черешнюк, И. Р. Алгоритмическая музыкальная композиция и её место в современном музыкальном образовании / И. Р. Черешнюк // Педагогика искусства. – 2015. – № 3. – С. 65-68.

# **PROGRAM FOR SOUND GENERATION BASED ON IMAGE COLOR SPECTRUM WITH USING THE RECURRENT NEURAL NETWORK**

Nikitin N.A. (*nikitinnikitaand@gmail.com*)

Orlova Yu.A. (*yulia.orlova@gmail.com*)

Rozaliev V.L. (*vladimir.rozaliev@gmail.com*)

Volgograd state technical university, Volgograd

This work is devoted to development and approbation of the program for sound generation based on image color spectrum with using the recurrent neural network. The work contains a description of the transition between color and music characteristics, the rationale for choosing and the description of a recurrent neural network. The choices of the neural network implementation technology as well as the results of the experiment are described.

**Keywords:** artificial neural networks, recurrent neural network, long-short term memory, Theano, TensorFlow, Lasagne, Keras, MXNet, Python, Newton correlation scheme.

## АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ УСЛОЖНЕНИЯ ЗАДАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ТЕСТИРОВАНИЯ

Жуйков И.В. ([zhuikill@yandex.ru](mailto:zhuikill@yandex.ru))

Нехаев И.Н. ([nehaevin@volgatech.net](mailto:nehaevin@volgatech.net))

Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола

Задачи компетентностного уровня – это сложные задачи, для решения которых недостаточно только знаний, поэтому обучающие и тестовые системы должны уметь моделировать структуры постепенно усложняющихся задач. В некоторых случаях данные структуры можно моделировать с помощью математических решёток, описывающих структуру кейсов с дополнительным отношением усложнения. В работе для моделирования кейсов применяются конечные LP-структуры.

**Ключевые слова:** компетентностный подход, интеллектуальная система тестирования, решетка усложнения кейсов, LP-структура

### 1 Введение

Современная парадигма обучения основывается на компетентностном и персонализированном подходах. Первый означает, что учить надо не столько знаниям, сколько учить решать компетентностно-ориентированные задачи [7-я *Рамочная программа ЕС*]. Задача современного учителя вести и выбрать путь наискорейшего овладения требуемыми навыками и компетенциями, а требуемые знания и умения студент, обучающийся должен сам искать и нарабатывать. Персонализированный подход означает, что современные системы обучения должны быть адаптивными и учитывать особенности и предпочтения обучающихся, настраиваться на их особенности восприятия и работы. Практика показывает, что реализовать персонализированный подход можно с использованием современных технологий онлайн-обучения. Концепция компетентностного подхода пока плохо понимается даже в педагогической среде, слабо формализована и, поэтому, попытки его реализации часто формальны и не продуктивны.

Тем не менее мы видим, что существует и запрос на создание таких систем обучения и попытки их реализации. В работах [Рыбина, 2008], [Нехаев и др., 2010a], [Наводнов, 2014] ставятся задачи тестирования умения решать компетентностные задачи. В работах [Бурдаев, 2009], [Нехаев и др., 2010b], [Красильников, 2011], [Наводнов, 2014], [Шана, 2014], [Рыбина и др., 2015] формулируются подходы и модели по созданию систем тестирования и обучения решению компетентностных задач. В работе [Нехаев и др., 2014] впервые сформулирована задача построения компетентностной модели обучающегося, являющейся оверлейной вероятностной моделью над структурой типовых тестовых кейсов и заданий. В работе [Нехаев и др., 2016] рассмотрены методы и модели принятия решений при организации адаптивного тестирования.

Все интеллектуальные системы обучения используют подсистему тестирования для диагностики уровня знаний и имеющихся пробелов. Поэтому системы обучения и системы тестирования неразрывно связаны друг с другом и используют общую модель обучающегося.

Многие действующие системы тестирования при оценке уровня компетенций рассматривают декомпозицию сложной задачи на этапы, правильное выполнение которых можно проверить с помощью обычных тестов с открытым типом ответов. Некоторые интеллектуальные системы [Рыбина и др., 2015] используют специфику самих задач, связанных с построением продукционных баз знаний и экспертных систем и предоставляют средства анализа введенных открытых ответов (в виде баз знаний) на каждом этапе решения задачи. Но в том и другом случае не проверяется само умение декомпонировать сложную задачу на подзадачи. Именно это умение и определяет способность решать сложные задачи. Особенно, в случае, когда возможных декомпозиций много и выбор варианта решающей декомпозиции не очевиден.

Некоторые системы адаптивного тестирования используют набор задач разного уровня сложности для более точной идентификации уровня сформированности компетенций у обучающихся [Нехаев и др., 2010a], [Наводнов, 2014]. Но при этом сложно или даже невозможно диагностировать причины невыполнения задач. И так как решение при автоматизации процесса тестирования не проверяется, то остается много вопросов по решению сложных задач, например, обучающийся сам решил задачу, если указан правильный ответ, или, все решение неверно, если указан неверный ответ? И при этом всегда остается открытым вопрос о качестве и диагностирующей способности уровня знаний такой структуры заданий [Красильников, 2011].

Для реализации интеллектуальной системы адаптивного тестирования (ИСТ) и обучения в работе [Нехаев и др., 2016] предлагается использовать

структуру типовых кейсов и тестовых заданий, на самой вершине которой располагаются самые сложные кейсы и задания, требующие применения не только знаний, но и способностей, опыта решений подобных задач. В данной работе вводится алгебраическая модель структуры усложнения типовых кейсов и тестовых заданий, которая позволит не только организовать адаптивное тестирование и построить компетентностную модель обучающегося, но и диагностировать в каких ситуациях обучающийся теряется, методы решения каких задач в каких ситуациях не знает обучающийся, а также оценить способность обучающегося выбирать рациональные решения [Нехаев и др., 2016].

## 2 Математическая модель структуры кейсов и типовых тестовых заданий из предметной области

Чтобы построить математическую модель структуры тестовых заданий для оценки уровня сформированности компетенций напомним, что понимается под моделью предметной области, кейсом и типовым тестовым заданием, сформулируем требования к моделируемой структуре кейсов.

В работе [Нехаев и др., 2016] были введены понятия базовой (расширяемой) модели предметной области и типовой учебной задачи. Под базовой моделью предметной области понимается 6-ка множеств:

$$baseKM = \{X, PN, FN, A, O, S\},$$

т.е. базовый модуль содержит информацию обо всех рассматриваемых объектах  $X$ , абстрактных задачах модуля  $A$ , понятиях-предикатах  $PN$ , функциональных понятиях  $FN$ , операциях  $O$ , базовых ситуациях  $S$ .

Под моделью типового тестового задания (ТТЗ) понимается кортеж из 5-ти объектов:

$$TTZ = \{X1 \subseteq X, s \in S, a \in A, Finp \subset F(X1), Fout \subset F(X1)\},$$

где  $X1$  – подмножество объектов из множества всех рассматриваемых объектов  $X$ , участвующих в описании входных и выходных данных задачи;

$a$  – решаемая абстрактная задача (А-задача);

$s$  – типовая ситуация (кейс), в которой описываются исходные отношения между объектами, и, в которой предлагается решать данную абстрактную задачу; описание составляется на языке предикатов;

$Finp, Fout$  – описание входа-выхода задания: что дано и что надо найти; исходная база фактов и критериальная база для проверки того, что задача решена (постусловие решения задачи);

$F(X)$  – множество возможных фактов, которые можно сформулировать с использованием предикатных и функциональных понятий с использованием множества объектов из  $X$ .

Обозначим  $F(X)$ , все мыслимое множество фактов через  $F_0$ . Оно может быть как конечным, так и бесконечным, в зависимости от

конечности множеств  $PN, FN, X$ . Факты из  $F_0$  имеют вид обычных фактов из продукционных баз знаний вида  $f(x) = y$  или  $p(x) = T|F$ ,  $x_i \in X, y \in V, f \in FN, p \in PN$ . Здесь  $V$  – это некоторое множество возможных значений функциональных параметров. Таким образом, описание кейса  $s$  есть не что иное, как подмножество этого набора фактов:  $s \subset F_0$ , а  $Finp$  – уточняющее дополнение для этого подмножества.

Под  $\mathbb{F}$  будем понимать булеан конечного множества  $F_0$  мощности  $n > 0$  и использовать обозначения, принятые в теории множеств. В этом случае множество типовых ситуаций  $S \subset \mathbb{F}, (s \in \mathbb{F})$  и  $s_1 \subseteq s_2$  обозначает, что ситуация  $s_1$  уточняется ситуацией  $s_2$  и будем считать, что  $(s_1, s_2)$  принадлежит отношению частичного порядка  $R_0$ , для которого существует  $A \cap B \in \mathbb{F}, A \cup B \in \mathbb{F}, \emptyset \in \mathbb{F}$  – пересечение, объединение и пустое множество элементов соответственно. Т.е. задаем решетку  $\mathbb{F}$ , используя элементы множества  $F_0$  в качестве атомов решетки и подрешетку  $S$ . В данной модели объектами бинарного отношения являются не элементарные факты, а конечные подмножества их исходного множества  $F_0$ . Атом решетки – это минимальный элемент ее подмножества. В нашем случае атомами полной атомарной решетки  $\mathbb{F}$  является множество  $F_0$ . Также будем говорить, что если  $s_2 = s_1 \cup B, B \in \mathbb{F}$ , т.е. ситуация  $s_2$  уточняет ситуацию  $s_1$ , то пара  $s_1, s_2 \in \mathbb{F}$  связана отношением  $R_0$ . Данное отношение является рефлексивным и транзитивным.

На подрешетке  $F_0$  (точнее на пересечении  $\mathbb{F}_0$  и объединения описаний типовых ситуаций из  $S$ ) введем дополнительное отношение частичного порядка – отношение «не усложнения» ситуаций  $R_1$ . Это отношение задается экспертами и смысл его заключается в том, что некоторые атомарные ситуации заведомо должны быть проще или, по крайней мере, не сложнее, чем другие атомарные ситуации. Например, выполнять операции с одноразрядными числами заведомо должно быть не сложнее, чем с многоразрядными. Т.е. при прочих равных условиях, решать задачу сложения чисел в ситуации с одноразрядными числами не сложнее, чем в ситуации с многоразрядными. Реально сложнее или нет – покажет опыт. Но создать такое отношение полезно для начала работы системы тестирования. Очевидно, что это отношение обладает такими свойствами как рефлексивность, транзитивность и дистрибутивность относительно операции объединения фактов [Махортов, 2003].

В работе [Махортов, 2010] введено понятие LP-структуры. Под LP-структурой подразумевается алгебраическая система, представляющая решетку, на которой задано дополнительное бинарное отношение, обладающее продукционно-логическими свойствами. Решетка в контексте данного определения рассматривается в широком смысле, и ее тип может уточняться в конкретных моделях. Решетка  $\mathbb{F}$  с заданным на нем

дополнительным отношением вполне удовлетворяет этим требованиям. Это означает [Махортов, 2010], что мы можем использовать такие операции в рамках данной структуры, как логическое замыкание  $R_1$ , решение продукционно-логических уравнений, прямой и обратный логические выводы.

Зададим логическое замыкание отношения  $R_2$ , которое является логическим замыканием на решетке  $\mathbb{F}$  отношения  $R_1$ :  $R_2 \supseteq R_1$ .

Если пара  $(A, B)$  входит в отношение  $R_1$   $(A, B) \in R_1$ , то она входит и в отношение  $R_2$ . При этом, если уточняем ситуацию  $A$ , и уточняем ситуацию  $B$ ,  $(A, B) \in R_2$  одинаково, то отношение неусложнения ситуаций  $A \cup X$  и ситуаций  $B \cup X$  также сохраняется  $(A \cup X, B \cup X) \in R_2$ .

Также выполняется условие, что если для пары ситуаций  $(A_1, B_1) \in R_2$ , (ситуация  $A_1$  не сложнее  $B_1$ ) и  $(A_2, B_2) \in R_2$  (ситуация  $A_2$  не сложнее  $B_2$ ), то пересечение ситуаций  $A_1$  и  $A_2$  будет не сложнее, чем пересечение ситуаций  $B_1$  и  $B_2$ , т.е.  $(A_1 \cap A_2, B_1 \cap B_2) \in R_2$ . Также используем свойство рефлексивности и транзитивности отношения  $R_1$  для того, чтобы автоматически добавит новые пары в  $R_2$ .

Полученная решетка  $\mathbb{F}$  с определённым на нем отношением  $R_2$  является LP-структурой.

### 3 Иллюстрация модели

Проиллюстрируем введенную модель на примере предметной области задачи с лабиринтом. Учебная задача формулировалась как приключенческая задача поиска золота в различных по сложности условиях (рис. 1). Идея модели игры взята из книги [Рассел и др., 2006]. Данная модель выбрана по причине того, что база знаний, описывающая данную предметную область, иллюстративна и конечна в отличие от предметных областей математики, физики и т.п. Количество всевозможных состояний данного мира, хоть и велико, но все-таки конечно. Следовательно, можно сконструировать структуру постепенного усложнения игровых ситуаций для формирования структуры типовых задач и воспользоваться ею для иллюстрации построенной модели.

Пусть для предметной области с лабиринтом в соответствии с базовой моделью заданы следующие множества  $X$ ,  $FN$ ,  $PN$ : множество рассматриваемых объектов  $X = \{\text{«обвалы»}, \text{«монстр»}, \text{«агент»}, \text{«пещера»}, \text{«ноги»}, \text{«стрелы»}, \text{«клад»}, \text{«кости»}, \text{«сквозняк»}, \dots\}$ , множество функциональных понятий  $FN = \{\text{«количество»}, \text{«координаты»}, \dots\}$ , множество возможных значений функциональных параметров  $V = \{0, 1, 2\}$ , множество понятий-предикатов  $PN = \{\text{«жив»}, \text{«существует»}, \text{«локализовано»}, \text{«убит»}, \text{«взят»}, \dots\}$ .

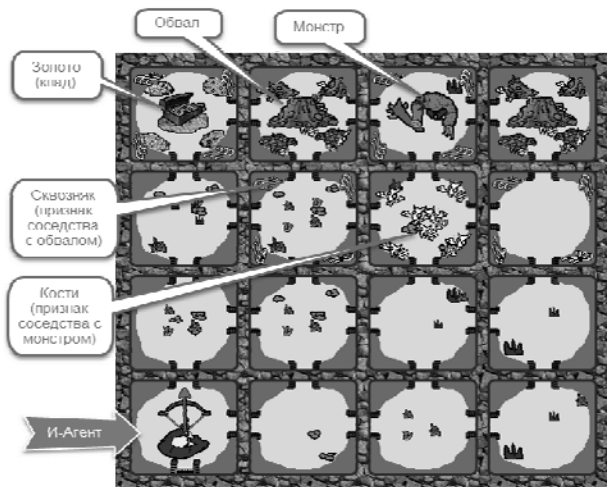


Рисунок 1 – Мир лабиринта с возможными обвалами, живым монстром и кладом

Используя данные множества описываем множество фактов  $F(X) = \{\langle \text{«существует(монстр)»}, \langle \text{«НЕ-существует(монстр)»}, \langle \text{«жив(монстр)»}, \langle \text{«НЕ-жив(монстр)»}, \langle \text{«локализован(монстр)»}, \langle \text{«НЕ-локализован(монстр)»}, \langle \text{«количество(обвалы)} = 0, 1, 2 \rangle, \langle \text{«локализовано(обвалы, } x \in \{0, 1, 2\} \rangle, \langle \text{«количество(стрелы)} = 0, 1 \rangle, \langle \text{«количество(ноги, агент)} = 1, 2 \rangle, \dots\}$ .

Генерируем решетку  $\mathbb{F}$ , используя в качестве атомов элементы множества  $F_0$  и пустое множество  $\emptyset$ . Отношение  $R_0$  на данной решетке является отношением уточнения ситуаций. Например, ситуация  $s1 = \langle \text{«жив(Монстр)»} \rangle$  уточняется ситуацией  $s2 = \langle \text{«жив(Монстр)»}, \langle \text{«НЕ-локализован(монстр)»} \rangle$ , которая уточняется ситуацией  $s3 = \langle \text{«жив(Монстр)»}, \langle \text{«НЕ-локализован(монстр)»}, \langle \text{«количество(обвалы)} = 2 \rangle \rangle$ .

Далее на решетке  $\mathbb{F}$  введем дополнительное отношение неусложнения ситуаций  $R_1$ . Применительно к предметной области с лабиринтом имеем, что  $A = \text{ситуация } \{\langle \text{«НЕ-существует(монстр)»} \rangle\}$  не сложнее, чем ситуация  $B = \{\langle \text{«существует(монстр)»} \rangle\}$ ; ситуация  $A = \{\langle \text{«количество(стрелы)} = 1 \rangle\}$  не сложнее, чем  $B = \{\langle \text{«количество(стрелы)} = 0 \rangle\}$  и т.д. (рис.2).

После описания экспертами множества типовых ситуаций  $S$  можно выделить подрешетку  $\mathbb{F}_1$ , являющаяся самой минимальной подрешеткой  $\mathbb{F}$ , содержащей  $S$  и далее работать только с ней. При этом автоматически будут удалены противоречивые ситуации, например, ситуация  $\{\langle \text{«НЕ-существует (монстр)»}, \langle \text{«существует(монстр)»} \rangle\}$ .



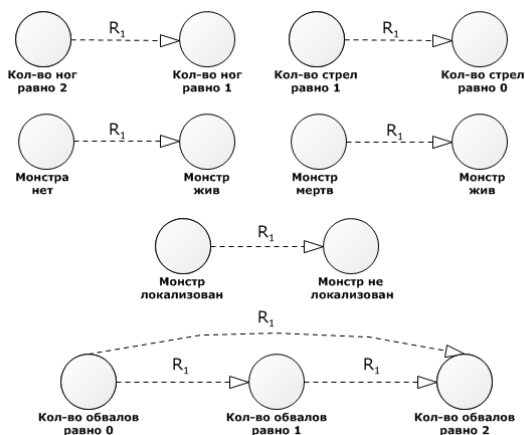


Рисунок 2 – Отношение неусложнения  $R_1$  на множестве  $\mathbb{F}_0$

Пример части решетки для предметной области с лабиринтом приведен на рисунке 3. Если ситуация  $A = \{\text{«количество (обвалы)} = 0\}\}$  не сложнее ситуации  $B = \{\text{«количество (обвалы)} = 1\}\}$ , то ситуация  $A \cap X = \{\text{«количество (обвалы)} = 0\}$ , «существует (монстр)»} будет не сложнее ситуации  $B \cap X = \{\text{«количество (обвалы)} = 1\}$ , «существует (монстр)»}, где  $X$  – это ситуация {«существует (монстр)»}.

В дальнейшем, для проведения тестирования, для генерации типовых тестовых заданий (ТТЗ), нам нужна будет LP-структура  $\mathbb{F}_1$  и ее свойства.

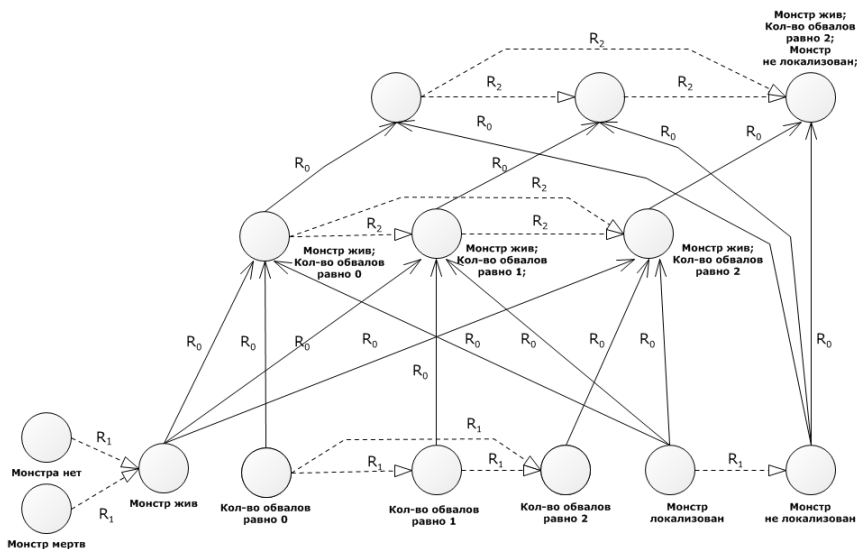


Рисунок 3 – Пример части решетки для предметной области «лабиринт» с дополнительным отношением неусложнения ситуаций  $R_1$  и его замыканием  $R_2$

## 4 Заключение

В статье представлено описание математической модели структуры усложнения ситуаций как LP-структуры, на основе которой формируется структура типовых задач предметной области и решаются задачи адаптивного тестирования, связанные с прямым и обратным логическим выводом с использованием данной структуры. Формирование LP-структуры на решетке  $F$  позволяет определить такие важные отношения между типовыми ситуациями (а значит и между ТТЗ), как вложенность (одна ситуация является подмножеством другой ситуации), усложнение. Благодаря этому, мы можем выделить цепочки усложнения ситуаций и определить, что одна ситуация не сложнее другой. Однако, на практике, требуется узнать, насколько реально сложнее оказывается одна из них. Если они оказываются одинаковые по сложности, то их можно объединить. Т.е. усложнение оказывается для данной ситуации не существенным. Если же одна из ситуаций оказывается на порядок сложнее, чем другая, то необходимо добавлять промежуточные ситуации, которые обеспечивают более плавное усложнение и более детальную идентификацию уровня знаний испытуемого.

Еще одним возможным результатом использования данной модели может быть анализ решения обучающегося с использованием данной решетки. Решением задачи можно считать последовательность действий-

операций, которые более сложную ситуацию сводят к более простой. В дальнейшем нас будут интересовать пары ситуаций, когда для разрешения более сложной ситуации необходимо знать что-то качественно новое, чем для разрешения более простой ситуации в паре. В этом случае, по результатам тестирования будет ясно, что именно не знает или не умеет обучающийся. Их можно выделить с использованием созданной модели и на основании анализа результатов тестирования.

### Список литературы

[7-я Рамочная программа ЕС] 7-я Рамочная программа Европейского Союза по научно-технологическому развитию (2007-2013 гг.). «Информационные и коммуникационные технологии. [Электронный ресурс] URL: <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/> (дата обращения: 01.07.2016).

[Бурдаев, 2009] Бурдаев В.П. ПИОС – почти интеллектуальная обучающая система // Искусственный интеллект. 2009. № 4. – С. 330-337.

[Красильников и др., 2011] Красильников М.И., Нехаев И.Н. Исследование классификационных свойств структуры тестовых заданий, предназначенных для оценки уровней сформированности предметных компетенций // «РЕГИОН: системы, экономика, управление». Воронеж, 2011. №4(15). С. 151-163.

[Махортов, 2003] Махортов С.Д. Логические отношения на решетках. // Вестник ВГУ. Серия физика, математика. – Воронеж, 2003, № 2. – С. 203–209.

[Махортов, 2010] Махортов С.Д. LP-структуры для обоснования и автоматизации рефакторинга в объектно-ориентированном программировании // Программная инженерия. – 2010, № 2. – С. 15–21.

[Наводнов и др., 2014] Наводнов В. Г., Киселева В. П., Губина А. Н., Киселева К. Н., Порядина О. В., Пылин В. В., Чернова Е. П. Концепция и технология проведения Федерального Интернет-экзамена в сфере профессионального образования. // Йошкар-Ола: СТРИНГ, 2014.-59 с.

[Нехаев и др., 2010a] Нехаев И. Н., Красильников М.И., Наводнов В. Г., Шарафутдинова Л.Н., Колчев А.А. О применении бикластерного анализа результатов тестирования для оценки уровня сформированности предметных компетенций. // Вестник МарГТУ, серия «Экономика и управление», Т. 3., 2010, С. 20-32.

[Нехаев и др., 2010b] Нехаев И. Н., Власов А.А. Интеллектуальная система адаптивного тестирования уровня усвоения знаний // КИИ-2010. Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (20 – 24 сентября 2010 г., г. Тверь, Россия). Сборник трудов.- М.: Физматлит, 2010, Т. 3, С. 257-263.

[Нехаев и др., 2014] Нехаев И.Н., Жуйков И.В. О подходе к построению интеллектуальной системы диагностики пробелов знаний // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.- Йошкар-Ола, ПГТУ, 2014, С. 30-38.

[Нехаев и др., 2016] Нехаев И.Н., Жуйков И.В. Модели принятия решения в интеллектуальной системе тестирования уровней сформированности предметных

компетенций // Кибернетика и программирование. — 2016. - № 4. - С.18-34. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.4.19863. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_19863.html](http://e-notabene.ru/kp/article_19863.html).

[Рассел и др., 2006] Стюарт Рассел, Питер Норвиг Искусственный интеллект. Современный подход. / Стюарт Рассел, Питер Норвиг – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 1407 с

[Рыбина, 2008] Рыбина Г. В. Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 22-46.

[Рыбина и др., 2015] Рыбина Г.В., Сергиенко Е.С. Интеллектуальное обучение на основе интегрированных экспертных систем: моделирование умений обучаемых решать сложные учебные задачи // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – №1. – С.31-39.

[Шана, 2014] Шана Маха Акрам, Автоматизированная информационная система адаптивного обучения на основе компетентностного подхода: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.25.05 / Шана Маха Акрам – Нальчик, 2014.-182 с.

## ALGEBRAIC MODEL OF STRUCTURE OF COMPLICATION OF TASKS IN THE INTELLIGENT TESTING SYSTEM

Zhuykov I.V. ([zhuikill@yandex.ru](mailto:zhuikill@yandex.ru))

Nekhaev I.N. ([nehaevin@volgatech.net](mailto:nehaevin@volgatech.net))

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Tasks of competence level are complex tasks for solving which is not enough only knowledge, so learning/testing systems should be able to simulate structures of gradually complicating tasks. Data can be got using mathematical solutions describing case structure with additional attitude of complication. Finite LP-structures are used for simulating cases.

**Keywords:** competency-based approach, intelligent testing system, lattice of complication of cases, LP-structure.

# НЕЙРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА НЕЧЕТКИХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА<sup>1</sup>

Алексеев Ф.Ф. (*falekseev@mail.ru*)  
КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, Казань

Метод функций Ляпунова (ФЛ), принцип сравнения с ФЛ и с векторной функцией Ляпунова широко используется в анализе и синтезе динамических управляемых систем. Рассмотрим некоторые вопросы, возникающие при синтезе и анализе систем с неопределенностями.

**Ключевые слова:** нечеткие обратные преобразования, функция Ляпунова, управление, нечеткий нейрогенетический алгоритм

1. Рассматривается система нечетких разностных уравнений [2]

$$u_n = F(n, u_n), u_{n_0} = u_0 \quad (1)$$

$F: N_{n_0} \times E^m$  непрерывная в  $u$  для каждого  $n \in N_{n_0}$  и  $u \in E^m$ . Пусть  $K_c(R^m)$  означает совокупность всех непустых компактных выпуклых подмножеств в  $R^m$ .

Обозначим Хаусдорфовым расстоянием между множествами  $A, B \in K_c(R^m)$  через  $d_H(A, B) = \max\{\sup_{x \in A} \inf_{y \in B} \|x - y\|, \sup_{y \in B} \inf_{x \in A} \|x - y\|\}$ , где  $\|\cdot\|$  означает норму в  $R^m$ . Обозначим  $E^m = \{u: R^m \rightarrow 0, 1; u \text{ удовлетворяет следующим условиям}$

- (i)  $u$  - нормальное, т.е. существует  $x_0 \in R^m$  такое, что  $u(x_0) = 1$ ;
- (ii)  $u$  - нечеткое выпуклое, т.е. для  $x, y \in R^m$  и для  $0 \leq \lambda \leq 1$   $u(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \min\{u(x), u(y)\}$ ;
- (iii)  $u$  полунепрерывна сверху;
- (iv)  $[u]^0 = \text{cl}\{x \in R^m; u(x) > 0\}$  компактно.

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и правительства Республики Татарстан (проект № 15-41-02465).

Для  $0 \leq \alpha \leq 1$  обозначим  $[u]^\alpha = \{x \in R^m; u(x) \geq \alpha\}$ . Тогда из (i)-(iv) следует, что множество  $\alpha$ -уровня  $[u]^\alpha \in K_c(R^m)$  для всех  $0 < \alpha \leq 1$ . Определим  $0^\wedge \in E^m$  как  $0^\wedge(x) = 1$ , если  $x = 0$ , и  $0^\wedge(x) = 0$ , если  $x \neq 0$ .

Определим  $D[u, v] = \sup_{0 \leq \alpha \leq 1} d_H([u]^\alpha, [v]^\alpha)$ . Тогда  $D$  – метрика в  $E^m$ ,  $(E^m, D)$  – полное метрическое пространство. Для любого  $u \in E^m$  положим  $\|u\| := D[u, 0^\wedge]$ .

Известны следующие свойства  $D[u, v]: D[u + w, v + w] = D[u, v]$  и  $D[u, v] = D[u, u]$ ;  $D[\lambda u, \lambda v] = |\lambda|D[u, v]$ ;  $D[u, v] = D[u, w] + D[w, v]$  для всех  $u, v, w \in E^m$  и  $\lambda \in R$ .

Если существует  $w \in E^m$ , такое что  $u = v + w$ , где  $w$  называется разностью Хукухары  $u$  и  $v$  и обозначается  $u - v$ .

Пусть  $N$  означает множество натуральных чисел и  $N_+ = N \cup \{0\}$ . Обозначим  $N_{n_0}^+$  множество  $N_{n_0}^+ = \{n_0, n_0 + 1, \dots, n_0 + l, \dots\}$  с  $l \in N_+$  и  $n_0 \in N$ . Пусть  $u : N_{n_0}^+ \rightarrow E^m$  такое, что разности Хукухары  $u(n + 1) - u(n)$  существуют для всех  $n \in N_{n_0}^+$ . Известно, что  $\|u(n)\|$  неубывающая на  $N_{n_0}^+$ . Необходим принцип сравнения для обыкновенных разностных уравнений.

**Лемма 1.1** [Lupulescu, 2008]. Пусть  $N_{n_0}^+$ ,  $r \geq 0$ , и  $g(n, r)$  будет неубывающей функцией в  $r$  для каждого  $n$ . Предположим, что для каждого  $n \geq n_0$  верны неравенства

$$y_{n+1} \leq g(n, y_n), \quad (2)$$

$$z_{n+1} \geq g(n, z_n). \quad (3)$$

Если  $y_{n_0} \leq z_{n_0}$ , тогда  $y_n \leq z_n$  для всех  $n \geq n_0$ .

Следующий результат оценивает решение нечеткого разностного уравнения в терминах решения скалярного разностного уравнения

$$z_{n+1} = g(n, z_n), z_{n_0} = z_0, \quad (4)$$

где  $g(n, r)$  непрерывная в  $r$  для каждого  $n$  и неубывающая в  $r$  для каждого  $n$ .

**Теорема 2.1** [Lupulescu, 2008]. Предположим, что  $F(n, u_n)$  непрерывная в  $u$  для каждого  $n$  и

$$D[F(n, u), 0^\wedge] = \|F(n, u)\| \leq g(n, \|u\|), \quad (5)$$

где  $g(n, r)$  дана в (4) (скалярное разностное уравнение).

Тогда из выполнения  $\|u_{n_0}\| \leq z_{n_0}$  следует выполнение

$$\|u_{n+1}\| \leq z_{n+1} \text{ для } n \geq n_0. \quad (6)$$

$$V(n + 1, u_{n+1}) \leq V(n, u_n) + h(n, u_n) + u_c(n, u_n) \equiv g(n, V(n, u_n)).$$

Пусть  $g(n, r) = r + h(n, r)$  и положим, что  $g(n, r)$  неубывающая в  $r$  для всех  $n$ . Имеем следующий вариант принципа сравнения. Эта версия является более удобной, т.к. для  $h(n, r)$  нет условия положительности и, следовательно, решение (4) может дать лучшие результаты.

**Теорема 2.2** [Lupulescu, 2008]. Пусть дана функция  $V : N_{n_0} \times E^m \rightarrow R_+$ , удовлетворяющая

$$V(n+1, u_{n+1}) \leq V(n, u_n) + h(n, u_n) \equiv g(n, V(n, u_n)), n \geq n_0$$

Тогда выполнение  $V(n, u_{n_0}) \leq z_{n_0}$  влечет выполнение

$$V(n+1, u_{n+1}) \leq z_{n+1}, n \geq n_0, \quad (7)$$

где  $z_{n+1} = z_{n+1}(n_0, z_{n_0})$  – решение (4).

Введем теорему об устойчивости решения нечеткого разностного уравнения (1). В дальнейшем обозначим  $K$  класс непрерывных и возрастающих функций  $\beta$ , определенных на  $[0, \infty)$ , таких что  $\beta(0) = 0$ .

**Теорема 2.3** [Lupulescu, 2008]. Предположим, что выполнены предположения т.2.2.

Пусть для  $a, b \in K$ ,  $n \in N$  и  $u \in E^m$  выполняется

$$b(\|u\|) \leq V(n, u_n) \leq a(\|u\|).$$

Тогда свойства устойчивости тривиального решения (4) влечет соответствующие свойства устойчивости тривиального решения (1).

**Теорема 2.4.** Выполняются предположения теорем 2.2 и 2.3 и пусть верно неравенство

$$V(n+1, u_{n+1}) \leq V(n, u_n) + h(n, u_n) + u_c(n, u_n) \equiv g(n, V(n, u_n)), \\ n \geq n_0;$$

$V(n, u_n)$  – положительно определенная. Тогда свойства устойчивости тривиального решения (4) влечет соответствующие свойства устойчивости тривиального решения (1).

Регулятор определяется из следующего выражения

$$V(n, u_n) + h(n, u_n) + b(n, u_c)u_c(n, u_n) = g(n, V(n, u_n)) - h(n, u_n) - \\ V(n, u_n).$$

Если  $u$  – вектор, то конструируем регулятор следующим образом

$$V_1(n, u_n) + h_1(n, u_n) + b(n, u_c)u_{1c}(n, u_n) = g_1(n, V_1(n, u_n)); \\ V_2(n, u_n) + h_2(n, u_n) + b_2(n, u_c)u_{2c}(n, u_n) = g_2(n, V_2(n, u_n)); \dots ; \\ V_{m_c}(n, u_n) + h_{m_c}(n, u_n) + b_{m_c}(n, u_c)u_{m_c c}(n, u_n) = g_{m_c}(n, V_{m_c}(n, u_n)).$$

Управление находится из выражения вида:  $SU = R$ ,  $U = S^{-1}R$ . Если уравнения содержат логические переменные, то получается обобщенная логическая псевдообратная матрица. Возможно, нечеткие операции могут оказаться в алгоритме. Т.е. в алгоритм обращения (псевдообращения) необходимо ввести логические операции или логические и нечеткие или нечеткие операции. Очень удобны могут оказаться вычислительные методы логики.

2. Система управления реализована также в варианте системы Такаги – Сугено.

**3. Нейрогенетический алгоритм настройки параметров регулятора.**  
**Обобщенно-генетические алгоритмы в логических цепочках с использованием соотношений логики высказываний, многозначной логики, нечеткой логики.** В процессе моделирования комбинированных систем управления (КС) (состоящих из совокупности математических моделей различной структуры) относительно укрупненных логических переменных (состоящая из компонент различных алфавитов) логическая часть КС может быть представлена следующим образом (пока запишем в логике высказываний; возможно обобщение)

$$K_1^1 \& K_2^1 \& \dots \& K_n^1 = I; K_1^2 \& K_2^2 \& \dots \& K_n^2 = I; \dots; K_1^r \& K_2^r \& \dots \& K_n^r = I.$$

Эта система может быть представлена в виде нескольких подсистем:

$$K_{n1}^1 \& K_{n2}^1 \& K_{nn}^1 = I; K_{n1}^2 \& K_{n2}^2 \& K_{nn}^2 = I; \dots; K_{n1}^q \& K_{n2}^q \& K_{nn}^q = I.$$

Применяя генетические алгоритмы поиска нового решения, логические уравнения разбиваются на подсистемы и склеиваются в новых комбинациях случайным образом. При этом определяется обобщенный критерий оптимальности  $Q$ . Оставляются те комбинации, которые улучшают КС по критерию оптимальности. В противном случае попытка (вариант КС) просто игнорируется. Такая нейрогенетическая реализация поиска управленческих решений приводит к оригинальным решениям, что другими способами невозможно.

$K_i^j$  содержат переменные, имеющие алфавит  $(-1, -1/2, 1/2, 1, \square)$ .  $\wedge$  (или другие логические связки) по содержанию варьируются в зависимости от текущих логических переменных  $\&, \&_{1/2}, \&_{-1/2}, \&_{-1}, \&_{\square}$  и т.п.

Решение таких систем, прежде всего, могут находиться пробным означиванием.

**Нейрогенетический алгоритм синтеза нечетких регуляторов.**  
**Генетический алгоритм настройки параметров регулятора.** При применении генетического алгоритма для настройки параметров регулятора (в том числе ПИД-регулятора) используется вещественное кодирование и логическое кодирование. В этом случае хромосома  $G_j$  представляет собой вектор параметров  $(K_P, K_I, K_D)$  (*PID-controller*),  $K_4, K_5, \dots, K_q$  (другие коэффициенты (параметры) СУ), (*membership functions parameters*). При этом значение первого гена  $g_{j1}$  хромосомы  $G_j$  соответствует коэффициенту  $K_P$ , второго  $g_{j2}$  – коэффициенту  $K_I$ , третьего  $g_{j3}$  – коэффициенту  $K_D$ ,  $g_{j3}$  – коэффициенту  $K_i$ ,  $j = \overline{1, N_{max}}$ , где  $N_{max}$  – число хромосом в популяции.

Вводится функция приспособленности задается в виде:

$$F_n = 1/|J(K_P, K_I, K_D, K_1, \dots, K_q, k_{q+1}, k_{q+2}, \dots, k_{q_1})|. \quad (8)$$



Начальная популяция хромосом формируется путем случайного выбора значений векторов  $(K_P, K_I, K_D, K_1, \dots, K_q, k_{q+1}, k_{q+2}, \dots, k_{q_1})$  из области  $[0, CK_P^*] \times [0, CK_I^*] \times [0, CK_D^*], [0, CK_i^*], i = 4, q, [0, k_i^*], i = q + 1, q_1$ . Отбор хромосом производится с помощью рангового метода селекции, в качестве генетических операторов используются арифметическое скрещивание (для логических переменных применяются вычислительные методы логики) и равномерная мутация. Введены логико-динамические игры, которые также могут быть использованы для настройки СУ. Для формирования нового поколения применяется элитарная стратегия, при использовании которой на каждой итерации алгоритма в популяции сохраняется наилучшая хромосома, т.е. хромосома с наибольшей приспособленностью. Работа генетического алгоритма останавливается при выполнении одного из следующих условий:

- 1) при достижении максимального числа поколений  $K_{max}$ ;
- 2) если значение приспособленности  $F_n(G^*)$  наилучшей хромосомы  $G^*$  удовлетворяет условию  $F_n(G^*) \geq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – заданная точность, т.е. вектор параметров, соответствующий данной хромосоме, обеспечивает выполнение условия;
- 3) если приспособленность наилучшей хромосомы не изменяется в течение заданного числа итераций  $n_c$ .

Алгоритм. Для настройки вектора параметров  $(\tilde{K}_P, \tilde{K}_I, \tilde{K}_D, \tilde{K}_1, \dots, \tilde{K}_q, \tilde{k}_{q+1}, \tilde{k}_{q+2}, \dots, \tilde{k}_{q_1})$ , обеспечивающих решение задачи, предлагается следующий алгоритм.

1. Задание исходных данных. Задаются: вектор параметров  $(K_P^*, K_I^*, K_D^*, K_1^*, \dots, K_q^*, k_{q+1}^*, k_{q+2}^*, \dots, k_{q_1}^*)$ , найденных с помощью алгоритма; константа  $C$ ; размер популяции  $N_{max}$ ; максимальное число поколений  $K_{max}$ ; вероятности скрещивания  $p_c$  и мутации  $p_m$ ; вероятность  $q'$  отбора наилучшей хромосомы; точность  $\varepsilon$ ; число итераций  $n_c$ , в течение которого приспособленность наилучшей хромосомы не изменяется. Счетчик  $k$  числа итераций полагается равным нулю.

2. Инициализация. Вычисляются максимальные значения  $g_1^{max} (l = 1, 3$  параметров регулятора:  $g1max = CK_P^*, g2max = CK_I^*, g3max = CK_D^*$ . Случайным образом генерируется  $N_{max}$  хромосом, образующих начальную популяцию  $P(0)$  следующим образом: значения генов  $g_{il}$  случайным образом выбираются из отрезков  $[0, g_1^{max}], [0, g_2^{max}], [0, g_3^{max}], [0, g_i^{max}], i = 4, q, [0, g_i^{max}], i = q + 1, q_1$ . Таким образом, формируется множество векторов  $(K_P, K_I, K_D, K_1, \dots, K_q, k_{q+1}, k_{q+2}, \dots, k_{q_1})$ , принадлежащих области  $[0, g_1^{max}], [0, g_2^{max}], [0, g_3^{max}], [0, g_i^{max}], i = 4, q, [0, g_i^{max}], i = q + 1, q_1$ .

3. Оценивание приспособленности. Для каждой хромосомы  $G_j$  текущей популяции  $P(k)$  значения параметров  $(K_p, K_I, K_D, K_1, \dots, K_q, k_{q+1}, k_{q+2}, \dots, k_{q_1})$ , выбираются из соответствующих генов, и по формуле вычисляется приспособленность хромосомы  $G_j$ .

4. Выбор наилучшей хромосомы. Выбирается хромосома  $G^*$  с наибольшим значением приспособленности, т.е. определяется вектор параметров, обеспечивающий минимальное значение показателя качества  $J$  (2.2). Если  $F_n(G^*) = \tilde{F}_n$ , то полагается  $i_c = i_c + 1$ , иначе  $i_c = 1$ ,  $\tilde{F}_n = F_n(G^*)$ .

5. Проверка условий останова. Если выполняется одно из условий: 1)  $k_c \leq K_{max}$ ; 2)  $F_n(S^*) \geq \varepsilon$ ; 3)  $i_c = n_c$ , то осуществляется переход к пункту 6, иначе к пункту 10.

6. Отбор. Применение пункта 6.2 алгоритма к хромосомам  $G_j$  текущей популяции  $P(k)$  и формирование родительской популяции  $M(k)$  хромосом.

7. Скрещивание. К отобранным хромосомам родительской популяции  $M(k)$  применяется оператор скрещивания следующим образом:

7.1. Счетчик  $i_1$  числа хромосом полагается равным 0.

7.2. из родительской популяции  $M(k)$  случайным образом выбираются хромосомы-родители  $G_1, G_2$ .

7.3. Генерируется случайное число  $z$ , равномерно распределенное в отрезке  $[0,1]$ . Если  $z > p_c$ , то осуществляется переход к пункту 7.4, иначе к пункту 7.5.

7.4. В популяцию  $P(k + 1)$  включаются родительские хромосомы  $G_1, G_2$  и осуществляется переход к пункту 7.6.

7.5. К отобранным хромосомам  $G_1$  и  $G_2$  применяется оператор арифметического скрещивания, состоящий в следующем: случайным образом генерируется число  $\mu$ , равномерно распределенное в отрезке  $[0,1]$ , и формируются потоки  $Ch_1, Ch_2$ :

$$Ch_1 = \mu G_1 + (1 + \mu)G_2, Ch_2 = \mu G_2 + (1 + \mu)G_1.$$

7.6. Полагается  $i_1 = i_1 + 2$ . Если  $i_1 < N$ , то осуществляется переход к пункту 7.2, иначе к пункту 8.

8. Мутация. К хромосомам популяции  $P(k + 1)$  применяется оператор мутации: для каждого  $i$ -го гена хромосомы  $G_j$  генерируется случайное число  $z_1$ , равномерно распределенное в интервале  $[0,1]$ . Если  $z_1 < p_m$ , то мутация не производится, иначе выполняется следующим образом:

8.1. Генерируется случайное число  $z_2$ , равномерно распределенное в отрезке  $[0,1]$ . Если  $z_2 \geq 0.5$ , то осуществляется переход к пункту 8.2, иначе к пункту 8.3.

8.2. Генерируется случайное число  $\alpha_1$ , равномерно распределенное в отрезке  $[0, g_l^{max} - g_{jl}]$ , и прибавляется к  $g_{il}$ :  $g'_{il} = g_{jl} + \alpha_1$ , где  $g'_{il}$  - значение  $l$ -го гена хромосомы  $G_j$  после мутации.

8.3. Генерируется случайное число  $\alpha_2$ , равномерно распределенное в отрезке  $[0, g_{jl}]$ , и вычитается из  $g_{jl}$ :  $g'_{jl} = g_{jl} + \alpha_2$ .

9. Переход к следующему поколению. В популяцию  $P(k+1)$  включается наилучшая хромосома  $G^*$ , полагается  $k = k+1$  и осуществляется переход к пункту 3.

10. Остановка алгоритма. Определение вектора параметров  $(\tilde{K}_P, \tilde{K}_I, \tilde{K}_D)$ , соответствующего наилучшей хромосоме  $G^*$ .

**Нейрогенетический нечетный алгоритм настройки регулятора.** Таким образом, нейрогенетический алгоритм для определения параметров  $(\tilde{K}_P, \tilde{K}_I, \tilde{K}_D, \tilde{K}_1, \dots, \tilde{K}_q, \tilde{k}_{q+1}, \tilde{k}_{q+2}, \dots, \tilde{k}_{q_1}, \tilde{\Gamma}_1, \tilde{\Gamma}_2, \dots, \tilde{\Gamma}_{q_2}(\text{genetic}))$  регулятора, обеспечивающих решение задачи, состоит из следующих шагов:

**Алгоритм.** 1. С помощью генетического алгоритма определяется вектор параметров  $(K_P^*, K_I^*, K_D^*, K_1^*, \dots, K_q^*, k_{q+1}^*, k_{q+2}^*, \dots, k_{q_1}^*, \Gamma_1^*, \Gamma_2^*, \dots, \Gamma_{q_2}^*)$  регулятора, обеспечивающий установившийся режим переходного процесса.

2. Если при найденном значении вектора  $(K_P^*, K_I^*, K_D^*, K_1^*, \dots, K_q^*, k_{q+1}^*, k_{q+2}^*, \dots, k_{q_1}^*)$  выполняется условие  $|J(K_P^*, K_I^*, K_D^*, K_1^*, \dots, K_q^*, k_{q+1}^*, k_{q+2}^*, \dots, k_{q_1}^*)| \leq \varepsilon$ , то осуществляется переход к пункту 3, иначе к пункту 4.

3. Значения  $(K_P^*, K_I^*, K_D^*, K_1^*, \dots, K_q^*, k_{q+1}^*, k_{q+2}^*, \dots, k_{q_1}^*)$  принимаются в качестве параметров регулятора:  $\tilde{K}_P = K_P^*$ ,  $\tilde{K}_I = K_I^*$ ,  $\tilde{K}_D = K_D^*$ ,  $\tilde{K}_1 = K_1^*, \dots$ ,  $\tilde{K}_q = K_q^*$ ,  $\tilde{k}_{q+1} = k_{q+1}^*$ ,  $\tilde{k}_{q+2} = k_{q+2}^*$ ,  $\dots$ ,  $\tilde{k}_{q_1} = k_{q_1}^*$  и осуществляется переход к пункту 5.

4. Для настройки вектора параметров  $(\tilde{K}_P, \tilde{K}_I, \tilde{K}_D, \tilde{K}_1, \dots, \tilde{K}_q, \tilde{k}_{q+1}, \tilde{k}_{q+2}, \dots, \tilde{k}_{q_1})$  применяется генетический алгоритм.

5. Остановка алгоритма и вывод вектора параметров  $(\tilde{K}_P, \tilde{K}_I, \tilde{K}_D, \tilde{K}_1, \dots, \tilde{K}_q, \tilde{k}_{q+1}, \tilde{k}_{q+2}, \dots, \tilde{k}_{q_1})$ .

На основании методики нейросетевого алгоритма и генетического алгоритма разработан нейрогенетический нечеткий алгоритм настройки параметров ПИД-регулятора и других вариантов систем управления.

### Список литературы

[Lupulescu, 2008] Vasile Lupulescu. "Constantin Brancusi" UniverTargu Jiu Engineering Faculty Scientific Conference. 13th edition with international participations. November, 07-08, 2008. Targu Jiu. Pp. 359-363.

# NEUROGENETIC ALGORITHMS FOR THE SYNTHESIS OF FZZY DISCRETE CONTROL SUSTEMS WITH USING OF LYAPUNOV VECTOR FUNCTIONS METHOD

Alekseev F.F. (*falekseev@mail.ru*)  
KNRTU-KAI, Kazan

The Lyapunov function method, the comparison principle with Lyapunov function and the Lyapunov vector function, is widely used in the analysis and synthesis of dynamic controlled systems. Let us consider some questions arising in the synthesis and analysis of systems with uncertainties.

**Keywords:** fuzzy inverse transformations, Lyapunov function, control, fuzzy neurogenetic algorithm.

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБОБЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ АТТРИБУТАМИ<sup>1</sup>

Астахова И.И. (*ast\_irina@mail.ru*)

Вагин В.Н. (*vagin@appmat.ru*)

Фомина М.В. (*m\_fomina2000@mail.ru*)

НИУ «МЭИ», Москва

Рассматривается проблема обобщения данных с учетом неопределенности в атрибутах. Рассматриваются алгоритмы, способные работать с нечеткими данными. Предлагаются варианты улучшения алгоритма UDT, обрабатывающего неопределенные атрибуты. Приводятся результаты экспериментов по применению алгоритма для работы с неопределенными атрибутами.

**Ключевые слова:** обобщение, неопределенный числовой атрибут, дерево решений.

### 1 Введение

Проблема индуктивного формирования понятий является крайне важной при построении современных интеллектуальных систем. Прежде всего, это системы обобщения и системы поддержки принятия решений. Алгоритмы обобщения позволяют получать знания, объясняющие имеющиеся факты, а также формировать классификационные правила. Области применения алгоритмов обобщения являются медицина, банковская деятельность, прогнозирование и многое другое. Но сложность состоит в том, что в обучающих выборках по данным предметным областям могут быть атрибуты, заданные не конкретным значением, а интервалом допустимых значений. Классические алгоритмы обобщения не позволяют работать с этим типом атрибутов, поэтому предлагается исследовать методы обработки таких нечетко заданных атрибутов.

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №15-01-05567а, 17-07-00442а).

## 2 Постановка задачи обобщения

Пусть  $O$  – множество всех объектов, представленных в некоторой системе знаний,  $V$  – множество положительных объектов определенного класса, и  $W$  – множество отрицательных объектов относительно данного класса. Будем рассматривать случай, когда:

$$O = V \cup W; V \cap W = \emptyset.$$

Сформируем конечное множество  $K = K^+ \cup K^-$ , такое, что  $K^+ \subset V$ ,  $K^- \subset W$ . Будем называть  $K$  обучающей выборкой. На основании обучающей выборки надо построить правило, разделяющее положительные и отрицательные объекты обучающей выборки [Вагин и др., 2008].

Понятие сформировано, если удалось построить решающее правило, которое для любого примера из обучающей выборки указывает, принадлежит ли этот пример понятию или нет. Рассмотрим алгоритмы, в которых решающие правила представлены в виде дерева решений [Вагин и др., 2008].

## 3 Алгоритмы обобщения, работающие с реальными данными

Наиболее известными методами решения поставленной задачи являются методы, основанные на теории приближенных множеств, методы деревьев решений (алгоритмы ID3, C4.5) [Quinlan, 1986, Quinlan, 1996].

Алгоритм ID3 (Induction of Decision Trees, разработан Р. Куинланом) формирует решающие деревья на основе примеров. Алгоритм начинает работу со всеми обучающими примерами в корневом узле дерева. Для разделения множества примеров корневого узла на основе критерия информативности выбирается один из атрибутов, и для каждого значения, принимаемого этим атрибутом, строится ветвь и создается дочерний узел. Затем все примеры распределяются по дочерним узлам в соответствии со значением атрибута. Алгоритм повторяется рекурсивно до тех пор, пока в узлах не останутся только примеры одного класса, после чего узлы будут объявлены листьями и разбиение прекратится [Quinlan, 1986].

Алгоритм C4.5 [Quinlan, 1996] представляет собой усовершенствованный вариант алгоритма ID3. Стоит отметить следующие улучшения:

1. Возможность работать не только с качественными атрибутами, но также с числовыми.
2. После построения дерева происходит усечение его ветвей.

В реальных базах данных значения некоторых атрибутов могут быть неточными, а иногда и отсутствовать. Такие данные в обучающих выборках затрудняют работу алгоритмов обобщения. Алгоритмы построения деревьев решений, названные выше, требуют расширения возможностей при работе с такими атрибутами. Неточные значения могут возникнуть в результате ошибок измерений, устаревших данных, нескольких повторяющихся

измерений, и т.д. В случае, если данные представляются несколькими значениями, для их описания может быть использован интервал. С таким интервалом связывается функция распределения вероятности появления различных значений. Неопределенность в атрибутах может возникать естественным путем, например, если учтена погрешность измерительного прибора и вместо точного значения в базу данных внесен некоторый диапазон. Атрибут, значения которого заданы интервалом, представляет собой неопределенный числовой атрибут (для краткости обозначаем его далее НЧА).

#### **4 Методы обработки неопределенных числовых атрибутов**

Для решения задачи построения дерева решений по таблицам, хранящимся в базе данных, которые содержат НЧА, можно использовать метод усреднения (AVG) [Xia, 2007]. Основная идея метода в том, что в обучающем множестве все значения типа «интервал» заменяются на свое среднее значение. Так, например, если признак «доход» представлен интервалом значений от 10 до 40, то после усреднения можно заменить его значением 25. После применения усреднения можно использовать хорошо изученные алгоритмы построения дерева решений, способные обрабатывать количественные атрибуты, например, алгоритм C4.5.

Следует учесть, что при замене интервала значений для атрибута на среднее неизбежно теряется часть информации. Поэтому был предложен способ обработки НЧА на основе статистических методов [Qin et al, 2009]. При таком подходе значение интервального атрибута рассматривается как случайная величина, которой сопоставлено некоторое распределение.

Так как каждое значение НЧА является интервалом, то границы интервала назовем критическими точками. Далее, если упорядочить значения критических точек и убрать повторяющиеся, то получим систему непересекающихся интервалов. Пусть один из таких интервалов задан как (a, b). Каждый интервал может пересекаться с несколькими значениями НЧА многократно. Если значение интервального атрибута в конкретном примере пересекается с интервалом (a, b), то его вероятность  $\int_a^b f(x)dx$ . На основании вероятности каждого отдельного экземпляра, пересекающегося с интервалом (a, b), можно вычислить суммарную вероятность для всех экземпляров набора данных, которые пересеклись с интервалом (a, b). Это число будет являться критерием выбора наиболее важного интервала неопределённого атрибута при построении дерева решений. Обозначим такой критерий PC как сокращение термина (probabilistic cardinality).

Для нахождения наилучшего интервала для разбиения для каждого интервала рассчитывается величина критерия PC и далее выбирается интервал с максимальным значением этого критерия.

Пусть рассматривается интервал  $(a, b) = Pa$ . Первоначально следует рассчитать его критерий PC для общего числа примеров, т.е. для всего обучающего множества [Qin et al, 2009]:

$$PC(Pa) = \sum_{j=1}^n P(A_j^{u_n} \in (a, b)) = \sum_{j=1}^n \int_a^b A_j^{u_n} \cdot f(x) dx,$$

где  $Pa$  – рассматриваемый интервал;

$A_j^{u_n}$  – интервал значений для  $j$ -ого примера атрибута  $A^{u_n}$ ;

$n$  – общее количество рассматриваемых примеров.

Если значение атрибута не пересеклось с рассматриваемым интервалом, то  $\int_a^b A_j^{u_n} \cdot f(x) dx = 0$ , во всех остальных случаях будет получено некоторое вещественное число.

## 5 Алгоритм UDT и его модификация

На основе описанного выше подхода был разработан алгоритм UDT (Uncertain Decision Trees) [Tsang et al, 2009]. В соответствии с этим алгоритмом для неопределенного числового атрибута все критические точки сортируются по возрастанию. В результате сортировки и удаления дубликатов будут получены непересекающиеся подмножества, что уже уменьшает количество рассматриваемых интервалов.

Одним из способов оптимизации алгоритма UDT является увеличение его быстродействия. Для этого предлагается применить процедуру вывода из рассмотрения пустых интервалов.

Если рассматриваемый интервал не пересек ни один интервал из сформированной для обучающего множества системы интервалов, то он называется пустым интервалом.

Все пустые интервалы можно исключить из рассмотрения, так как на коэффициент прироста информации они не влияют. Был разработан алгоритм UDT\_OPT, включающий процедуру удаления пустых интервалов из рассмотрения.

## 6 Экспериментальные результаты

Было выполнено программное моделирование изложенных выше методов и алгоритмов. Эксперименты проводились на тестовых наборах данных из репозитория UCI калифорнийского университета информации и компьютерных наук [Merz, 1998]. Для сравнительного анализа проводилось два типа экспериментов.



На первом эксперименте наша цель - оценить точность классификации алгоритмов (AVG, UDT и UDT\_OPT) на примере одного набора «Iris», в зависимости от максимального интервального отклонения<sup>1</sup>.

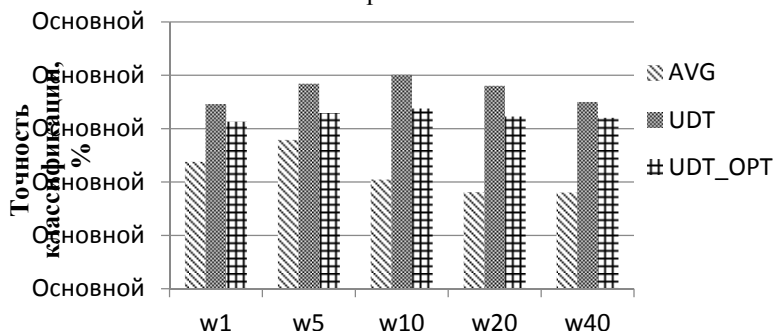


Рисунок 1 – Результаты первого эксперимента

Второй эксперимент проводился на трех наборах данных «Iris», «Glass» и «Vehicle». Цель данного эксперимента – сравнить время выполнения алгоритмов (AVG, UDT и UDT\_OPT).

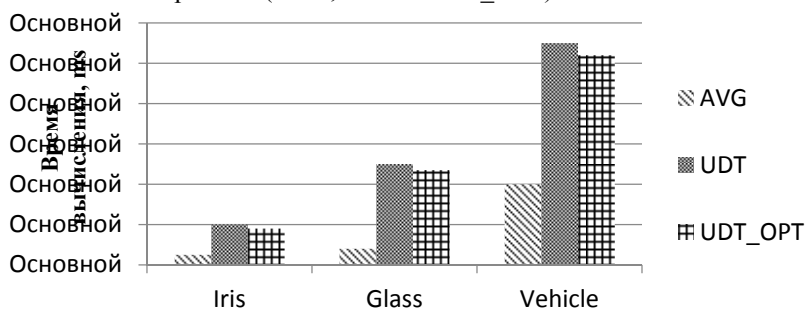


Рисунок 2 – Результаты второго эксперимента

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что применение метода UDT\_OPT значительно увеличивает точность классификации по сравнению с методом AVG и при этом уменьшает время, требуемое на выполнение по сравнению с методом UDT.

<sup>1</sup> Обозначение w1 означает, что максимальное интервальное отклонение от точного числа равно 1%, для остальных значений аналогично. Рассматриваются отклонения равные: 5%, 10%, 20%, 40%

## 7 Заключение

В работе рассмотрена проблема обобщения данных, в которых используются нечеткие атрибуты. Это атрибуты, значениями которых могут быть множества; таким множеством может быть конечный набор значений, либо числовой интервал. Рассмотрены алгоритмы обобщения, использующие разные стратегии обработки нечетких атрибутов и предложена модификация для уменьшения времени обработки таких атрибутов. Приведены результаты программного эксперимента.

### Список литературы

- [Вагин и др., 2008] Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. 2-е издание дополненное и исправленное. – М.: Физматлит, 2008. – 712 с.
- [Merz, 1998] C.J. Merz, P.M. Murphy. UCI Repository of Machine Learning Datasets // Information and Computer Science University of California,” 1998. [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml/>.
- [Quinlan, 1986] Quinlan J.R.: Induction of Decision Trees. Machine Learning 1, 1986, pp. 81-106
- [Quinlan, 1996] Quinlan J.R.: Improved Use of Continuous Attributes in C 4.5. Journal of Artificial Intelligence Research 4, 1996, pp. 77-90
- [Qin et al, 2009] Qin B., Xia Y., Prbahakar S., Tu Y. A Rule-based Classification Algorithm for Uncertain Data // The Workshop on Management and Mining Of Uncertain, 2009
- [Tsang et al, 2009] S. Tsang, B. Kao, Kevin Y. Yip, Wai-Shing Ho, and Sau Dan Lee. Decision Trees for Uncertain Data. // IEEE International Conference on Data Engineering 2009. (ICDE’09), pp 441–444, 2009.
- [Xia, 2007] Xia Y., Xi B. Conceptual clustering categorical data with uncertainty// In: Proceedings of international conference on tools with artificial intelligence, pp. 329-336, 2007.

## METHODS AND ALGORITHMS OF GENERALIZATION BY OPERATION WITH UNCERTAIN ATTRIBUTES

Astachova I.I. (*ast\_irina@mail.ru*)

Fomina M.V. (*m\_fomina2000@mail.ru*)

Vagin V.N. (*vagin@appmat.ru*)

Moscow Power Engineering Institute, Moscow

This paper provides the problem of data generalization, taking into account uncertain information in attributes. Algorithms capable to operating with uncertain data are considered. The methods to improve UDT algorithm are suggested. The results of experiments on the application of the proposed algorithms are given.

**Keywords:** generalization problem, undefined numeric attribute, decision tree.

## СЕГМЕНТАЦИЯ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АППАРАТА ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ<sup>1</sup>

Хамдамов Р.Х., Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р.  
(*grmirzaeva@mail.ru*)

НИЦ ИКТ при ТУИТ им. М. ал-Хоразмий, Ташкент,  
Узбекистан

Одним из основных задач в области обработки изображений и компьютерного зрения является задача сегментации изображений, которая рассмотрена в данной работе. Для решения этой задачи предложен алгоритм, основанный на теории нечетких множеств. Оценка работоспособности разработанного алгоритма проверена при решении ряда задач сегментации цветных изображений.

**Ключевые слова:** нечеткие множества, характерных признаков изображений, сегментации цветных изображений, алгоритмы сегментации.

### 1 Введение

На сегодняшний день разработано и исследовано большое количество методов и алгоритмов для решения задачи сегментации изображений [Пылькин и др., 2010; Шапиро и др., 2006; Форсайт и др., 2004; Cuevas et al., 2016; Stanimirovic, 2017; Szeliski, 2011]. Несмотря на это, вопросы сегментации изображений являются одной из наиболее критичных проблем в области обработки и распознавания цифровых изображений [Pei-Gee Peter Ho et al., 2011]. В последние годы многие исследователи делают все больший упор на развитие новых подходов и способов в обработке изображений, чтобы найти эффективные методы решения различных задач сегментации изображений.

Одним из таких путей является использование технологий «мягких вычислений» в цифровой обработке изображений. Как известно, эти технологии базируются на теории нечетких множеств, нечеткой логики

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке проектов А-5-19 и БВ-М-Ф4-003.

[Заде и др., 1976], и они в настоящее время находят применение при решении задач обработки изображений и распознавания объектов на изображении, в частности сегментации изображений [Салиев и др., 2017а; Etienne et al., 2000; James et al., 2005; Pal et al., 1993; Pei-Gee Peter Ho et al., 2011]. Возможность успешного применения методов нечеткой логики во многом определяется гибким математическим аппаратом, используемым при анализе и обработке изображений.

Основной целью данной работы является разработка алгоритмов сегментации цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) проанализировать существующие методы сегментации изображений и определить круг решаемых задач;
- 2) разработать алгоритм сегментации изображений, основанный на теории нечетких множеств;
- 3) провести экспериментальные исследования для оценки эффективности разработанного алгоритма при решении ряда задач сегментации цветных изображений.

## **2 Обзор существующих методов сегментации изображений**

Анализ литературных источников показывают, что методы сегментации изображений на основе теории нечетких множеств делятся на следующие группы.

1. Пороговая сегментация. Методы данной группы являются одними из самых простых методов сегментации изображений и разделяют изображение на области объекта и фона. Таким образом, эти методы на основе сравнения с порогом формируют бинарное изображение, в котором значение пикселей, принадлежащих объектам равно 1, а значение пикселей, принадлежащих фону – 0. Существует несколько традиционных методов определения порогов, адекватных исходному изображению [Chi, 1998; Pal et al., 1993]. Для определения оптимального порога, можно вычислить такие меры, как линейный/квадратичный индекс нечеткости [Pal et al., 1990], нечеткая компактность [Pal et al., 1993] или индекс зоны покрытия [Pal et al., 1990]. Нечеткие отклонения и вероятностные меры также могут быть использованы для сегментации изображений на объект и фон [Chi, 1998].

2. Сегментация на основе методов кластеризации. Первым методом нечеткой кластеризации является метод нечетких C-средних (Fuzzy C-means – FCM) [Леоненков, 2003; Chi, 1998; Everitt et al., 2011], имеющий в настоящее время множество модификаций [Hoppner et al., 2000]. Метод FCM базируется на использовании идей и математического аппарата нечеткой логики. В ходе работы алгоритма FCM каждому пикселю изображения ставится в

соответствие вектор из функций принадлежности к каждому классу, на основе которого можно делать выводы о природе данного объекта.

Результат сегментации с помощью алгоритма FCM сильно зависит от выбранной меры. Евклидово расстояние является эффективным только тогда, когда кластеры хорошо разделены и примерно равны по размеру. Иначе могут быть использованы другие алгоритмы, такие как алгоритм, предложенный в [Pal et al., 1993], или алгоритм разложения Гауссовой смеси.

Несмотря на достигнутые успехи в области сегментации изображений с использованием аппарата нечетких множеств, имеется ряд нерешенных задач [Салиев и др., 2017а]. К их числу можно отнести проблему адекватного отображения предметной области на нечеткую систему, выбора моделей нечеткого логического вывода и их интеграции в единую интеллектуальную систему. При этом многие из разработанных методов, основанные на теории нечетких множеств, требуют большие вычислительные ресурсы, что затрудняет их применение в прикладных системах. Таким образом, вопросы сегментации изображений с использованием аппарата нечетких множеств исследованы недостаточно. Поэтому разработка и усовершенствование методов сегментации изображений, основанных на теории нечетких множеств, являются весьма актуальными.

### 3 Постановка задачи

Пусть исследуемое изображение  $\mathcal{I}$  состоит из  $m$  ( $m = m_h \times m_w$ ) элементов:  $\mathcal{I} = \{\rho_{uv} | u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]\}$ .

Предполагается, что каждый элемент  $\mathcal{I}$  может быть представлена множеством характеристик (или признаков)  $X$ :

$$X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\},$$

которое получило название вектора характеристик (признаков) сегментируемых элементов. Следует отметить, что во многих источниках по распознаванию образов обрабатываемые элементы данных называют объектами. Далее, опираясь на данную терминологию, элементы исследуемого изображения называем объектами, а само изображение назовем множеством объектов. Тогда исследуемые изображения можно рассматривать как множество  $I$ , состоящее из  $m$  элементов:

$$I = \{\mathcal{I}_1, \dots, \mathcal{I}_i, \dots, \mathcal{I}_m\},$$

где  $i = u + m_w \cdot v$  ( $u \in [0, \dots, (m_h - 1)], v \in [0, \dots, (m_h - 1)]$ ). При этом каждому объекту  $\mathcal{I}_i$  соответствует вектор признаков  $\bar{x}_i$ :

$$\bar{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}).$$

Известно [Журавлев, 1998], что множество объектов  $\{\mathcal{I}_1, \dots, \mathcal{I}_i, \dots, \mathcal{I}_m\}$  можно представить в виде таблицы данных  $T_{mn}$  ( $T_{mn} = \{\tau_{uv} | u \in [1, \dots, m], v \in [1, \dots, n]\}$  размерности  $(m \times n)$ ). Каждая строка  $T_{mi}$  равно значению вектора-признаков соответствующего объекта.

Пусть дана исходная информация  $T_{mn}$ . Задача нечеткой сегментации заключается в определении нечеткого разбиения рассматриваемого множества объектов на заданное число подмножеств, которые достигают экстремума целевой функции (3) среди всех нечётких разбиений.

В целях уточнения задачи нечеткой сегментации введем некоторые понятия. Пусть искомые нечёткие сегменты представляют некоторая подмножества  $S_j$ , состоящие из исходного множества объектов сегментации, для которого выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^{\ell} \mu_{S_j}(J_u) = 1, \quad (\forall J_u \in \mathbb{I}) \quad (1)$$

где  $\ell$  – количество нечётких сегментов  $S_j$  ( $j \in \{2, \dots, \ell\}$ ).

Предполагается, что каждый нечёткий сегмент определен предварительно и характеризуется так называемым типичным элементом (или центром  $z_j$ ,  $z_j = (z_{i1}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{in})$ ) искомого нечёткого сегмента  $S_j$  ( $j \in \{2, \dots, \ell\}$ ), который вычисляется по каждому признаку:

$$z_{ij} = \left( \sum_{u=1}^m \left( \mu_{S_j}(J_u) \right)^k \cdot \tau_{iu} \right) / \sum_{u=1}^m \left( \mu_{S_j}(J_u) \right)^k, \quad (2)$$

где  $\tau_{iu}$  – значение  $i$ -го признака в  $u$ -ом объекте (элементы);  $k$  – параметр алгоритма, называемый экспоненциальным весом, и равный некоторому действительному числу ( $k > 1$ ).

В качестве целевой функции будем рассматривать сумму квадратов ошибки:

$$R = \sum_{j=1}^{\ell} \sum_{u=1}^m \left( \mu_{S_j}(J_u) \right)^k \|J_u - z_j\|, \quad (3)$$

где  $\|x\|$  – норма вектора  $x$  ( $\|x\| = \sqrt{x'x}$ );  $k$  – параметр алгоритма, значение которого задается в зависимости от количества  $m$  элементов  $\mathbb{I}$ . Чем больше  $m$ , тем меньше должно быть значение  $k$ .

## 4 Метод решения

Основная идея предлагаемого подхода заключается в формировании подмножеств пикселей, определяющих однородные области рассматриваемого изображения. Разбиение  $\mathcal{R}$  на  $l$  подмножеств осуществляется на основе итерационного оценки функции принадлежности каждого элемента множество  $\mathcal{R}$ .

Пусть рассматриваемое цветное изображение состоит из  $W \times H$  пикселей и описано в системе RGB. Предлагаемый алгоритм сегментации состоит из трёх этапов.

### 4.1 Предварительная обработка цветного изображения

На данном этапе осуществляется предварительная обработка изображений, хотя в результате такого рода обработки мы не получаем характерные признаки, которые могут быть использованы при сегментации

изображений, эта обработка создает благоприятные условия для определения значений этих признаков более точно, чем без предварительной обработки [Мирзаева, 2017; Талев и др., 2000; Stanimirovic, 2017]. Данное обстоятельство связано с тем, что при формировании изображений и выполнении различных операций над ними часто возникают различные искажения и шумы [Гришенцев и др., 2014]. В подобных условиях осложняется применение алгоритмов сегментации к искаженным и зашумленным изображениям и уменьшает их работоспособность. Кроме того, исходные изображения задаются в различных форматах, которые образуют разные цветовые пространства. В подобных случаях для применения алгоритмов сегментации требуется преобразование исходного цветового пространства в RGB пространство. Процедуры, используемые в данном этапе, предусматривают следующие варианты предобработки: 1) сглаживание изображения, предназначенное для сегментации; 2) преобразование системы цветовых координат. При этом следует отметить, что рассматриваемые на данном этапе алгоритмы применяются для улучшения качества сегментации и являются начальным этапом при решении задачи сегментации изображения.

#### 4.2 Формирование набора нечетких признаков

На данном этапе определяется ряд нечетких характеристик для описания каждого допустимого элемента  $\mathfrak{P}$  исходного изображения. Для преобразования элементов исходного изображения во множество векторов-признаков можно выделить следующие нечеткие характеристики по каждому пикселю анализируемого исходного изображения:

1. Нечеткие яркости пикселя  $p_i$  на координатах  $x, y$  по каждому из трех базовых цветов ( $i = 1, 2, 3$ ):

$$p_i = \{z | \mu_{C_i}(z) \geq 0, z \in \mathfrak{X}\}, \\ z = J_i(x, y), \mathfrak{X} = \{0, 1, \dots, 255\},$$

где  $J_i(x, y)$  яркость  $i$ -го цвета пикселя с координатами  $(x, y)$ .

На рис. 1 приведены функции принадлежности нечеткой яркости, используемые при формировании яркостных признаков изображения.

На координате  $(x, y)$  по каждому  $i$ -му цвету соответствует яркость  $J_i(x, y)$ :  $\mathbf{C}$  ( $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, C_3\}$ ). Здесь  $\mathbf{C}$  – нечеткие множества яркости:  $C_1$  – нечеткое подмножество «слабый»;  $C_2$  – нечеткое подмножество «среднее»;  $C_3$  – нечеткое подмножество «сильный».

2. Нечеткая яркость  $\mathcal{S}_i$  произвольного фрагмента изображения, состоящего из  $3 \times 3$  элементов ( $i = 1, 2, 3$ ):

$$\mathcal{S}_i = \{s_i | \mu_{C_i}(s_i) \geq 0, s_i \in \mathbb{S}\}, \mathbb{S} \subseteq \mathfrak{X},$$

где  $s_i$  – средняя яркость  $i$ -го цвета в окрестности пикселя с координатами  $(x, y)$ :

$$s_i = \left( \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 J_i(x+u, y+v) \right) / 9.$$

Для определения нечеткой яркости (при формировании усредненных яркостных признаков по фрагменту изображения) в окрестности пикселя с координатами  $(x, y)$  можно использовать функцию принадлежности, приведенную на рисунке 1.

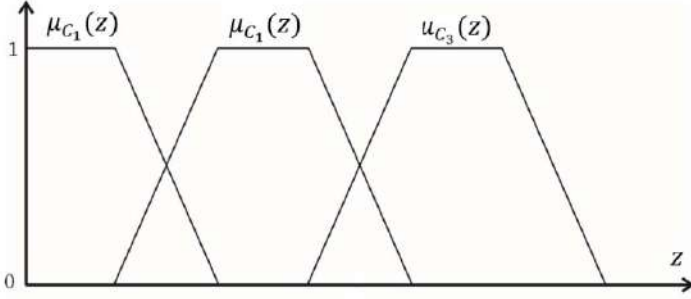


Рисунок 1 – Функции принадлежности, используемые при порождении нечетного множества яркости пикселя  $J_i(x, y)$  на координате  $(x, y)$  по каждому  $i$ -му цвету  $C$  ( $C = \{C_1, C_2, C_3\}$ )

Здесь  $C$  – нечеткие множества яркости;  $C_1$  – нечеткое подмножество «слабый»;  $C_2$  – нечеткое подмножество «среднее»;  $C_3$  – нечеткое подмножество «сильный»

3. Нечеткая оценка среднего квадратичного значения яркости по фрагменту изображения, состоящего из  $3 \times 3$  элементов ( $i = 1, 2, 3$ ):

$$\mathfrak{E}_i = \{e_i | \mu_{C_i}(e_i) \geq 0, e_i \in \mathbb{D}\}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X},$$

где  $e_i$  – средняя яркость  $i$ -го цвета пикселя с координатами  $(x, y)$ :

$$e_i = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (J_i(x+u, y+v))^2.$$

4. Нечеткая оценка рассеивания яркости по фрагменту изображения, состоящего из  $3 \times 3$  элементов ( $i = 1, 2, 3$ ):

$$\mathcal{D}_i = \{d_i | \mu_{C_i}(d_i) \geq 0, d_i \in \mathbb{D}\}, \mathbb{D} \subseteq \mathfrak{X},$$

где  $d_i$  – средняя яркость  $i$ -го цвета пикселя с координатами  $(x, y)$ :

$$d_i = \left( \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 (f_i(u, v))^2 \right) / 9,$$

$$f_i(u, v) = J_i(x+u, y+v) - s_i(x, y).$$

где  $s_i(x, y)$  – средняя яркость  $i$ -го цвета в окрестности пикселя с координатами  $(x, y)$ .



### 4.3 Определение сегментов изображений

Разделение рассматриваемого изображения на  $l$  сегментов выполняется на основе формирования подмножеств связанных пикселей. Основная идея формирования подмножеств сильносвязанных элементов состоит в том, что элементы каждого сегмента будут ближе к его «центру», чем к «центрам» других сегментов. Задача формирования подмножеств сильносвязанных элементов считается решенной, если по множеству  $\mathfrak{R}$  удалось определить «центры» сегментов и границы соответствующих подмножеств элементов. Близость к центральному элементу сегментов определяется на основе понятия нечеткого множества [Заде, 1976; Hoppner et al., 2000].

Рассмотрим множество допустимых элементов (т.е. допустимых пикселей) изображения  $\mathfrak{R}$ . Предположим, что каждому допустимому элементу  $p$  ( $p \in \mathfrak{R}$ ) соответствует вектор-признаков  $\vec{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ , вычисленных на втором этапе.

Алгоритм нечеткой сегментации элементов изображения можно описать следующим образом. Пусть даны параметры  $l$ ,  $C_j$  ( $j = \overline{2, l}$ ), которые характеризуют число сегментов и центров сегментов соответственно. Тогда для определения исходного разбиения  $\mathcal{R}_0(\mathfrak{R}) = \{S_j, |S_j \subset \mathfrak{R}\}$  можно вычислить центры сегментов по формуле (2) и значение целевой функции по формуле (3). Если для некоторого  $j$  ( $j \in \{2, \dots, l\}$ ) и некоторого  $r_{xy}$  ( $r_{xy} \in \mathfrak{R}$ ) значение

$$\sum_{i=1}^N (r_{xy}^i - v_{ij}(x, y)) = 0,$$

то для соответствующего нечеткого сегмента  $S_j$  считается, что  $\mu_j(r_{xy}) = 1$ , а для сегментов  $S_q$  ( $q = \overline{1, l}, j \neq q$ ) считается, что  $\mu_j(r_{xy}) = 0$ .

Далее, для полученных нечетких сегментов уточнение «центров» сегментов и значение целевой функции, соответственно, по формуле (2) и (3).

Вычисление «центров» сегментов осуществляется на основе итеративного метода, который опирается на последовательное уточнение значения  $z_{ij}$  (см. формулу 2) в каждой итерации. При этом значение  $\mu_{S_j}(J_u)$  вычисляется следующим образом:

$$\mu_{S_j}(J_u) = \delta_{uj} / \left( \sum_{v=1}^l \delta_{uv} \right),$$

$$\delta_{uj} = 1 / \left( \sum_{i=1}^n (z_{ij} - \tau_{iu}) \right),$$

где  $j \in \{1, 2, \dots, l\}$ ,  $u \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

В ходе реализации алгоритма нечеткой сегментации выполняется процесс уточнения «центров» сегментов. Данный процесс прекращается, если:

- 1) выполняется условие  $|\mathfrak{D}(\mathcal{R}_{q-1}) - \mathfrak{D}(\mathcal{R}_q)| \leq \varepsilon$ ;
- 2) количество выполненных итераций  $q$  превышает заданное число  $q_0$ .

Для проверки работоспособности рассмотренного алгоритма проведены экспериментальные исследования.

## 5 Экспериментальная проверка

Для оценки работоспособности предложенного алгоритма с его помощью решены две задачи: распознавание номерных знаков вагонов [Салиев и др., 2017b] и идентификация личности по изображению лица [Фазылов и др., 2017]. Сущность этих задач заключается в определении областей, соответствующих: цвету цифр на цветных изображениях вагонов и цвету кожи человека на цветных изображениях.

Известно, что понятия “цвет цифр на железнодорожных вагонах” и “цвет человеческой кожи” не поддаются четкому аналитическому описанию. В связи с этим вопросы о точности результатов работы алгоритма были определены на основе визуальных сравнений.

Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность разработанного алгоритма сегментации при решении задач выделения цифр на цветных изображениях вагонов и определения области лица на цветных фотопортретах.

## 6 Заключение

Разработан алгоритм сегментации, основанный на поиске сильносвязанных элементов рассматриваемого цветного изображения с применением метода нечеткой классификации. Предложенный алгоритм является дополнением к существующим методам сегментации цветных изображений и может быть использован при составлении различных программных комплексов, ориентированных для решения класса задач, связанных с вопросами обработки и анализа изображений.

## Список литературы

- [Гришенцев и др., 2014] Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Методы и модели цифровой обработки изображений. – СПб.: Политехн. университет, 2014.
- [Журавлев, 1998] Журавлев Ю.И. Избранные научные труды. – М.: Магистр, 1998.
- [Заде, 1976] Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
- [Леоненков, 2003] Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб: БХВ–Петербург, 2003.
- [Мирзаева, 2017] Мирзаева Г.Р. Предварительная обработка изображений при распознавании номерных знаков автомобилей // Современная техника и

- технологии. 2017. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru> (дата обращения: 11.07.2017).
- [Пылькин и др., 2010] Пылькин А.Н., Тишкин Р.В. Методы и алгоритмы сегментации изображений. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010.
- [Салиев и др., 2017а] Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р. Алгоритмы сегментации цветных изображений на основе аппарата теории нечетких множеств // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. - №2. – С. 93-97.
- [Салиев и др., 2017б] Салиев Э.А., Мирзаева Г.Р., Расулмухамедов М.М. Выделение характерных признаков при распознавании номеров вагона // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Доклады Респуб. конференции. – Ташкент, 2017. – С. 391 - 395.
- [Талев и др., 2000] Талев М.А., Старовойтов В.В. Алгоритм сегментации цветных изображений средствами кластерного анализа // Цифровая обработка изображений. – Минск: ИТК НАН Беларуси, 2000. – Вып. 4. – С.107-116.
- [Фазылов и др., 2017] Фазылов Ш.Х., Мирзаев Н.М., Тухтасинов М.Т., Мирзаев О.Н. Выделение признаков при распознавании личности по изображению лица // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Доклады Респуб. конференции. – Ташкент, 2017. – С. 447- 451.
- [Форсайт и др., 2004] Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Вильямс, 2004.
- [Шапиро и др., 2006] Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.
- [Chi, 1998] Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition. – London: Word Scientific, 1998.
- [Cuevas et al., 2016] Cuevas E., Zaldívar D., Perez-Cisneros M. Applications of Evolutionary Computation in Image Processing and Pattern Recognition. – New York: Springer, 2016.
- [Etienne et al., 2000] Etienne E., Kerre M. Fuzzy Techniques in Image Processing. - New York: Springer, 2000.
- [Everitt et al., 2011] Everitt et al. Cluster Analysis: 5th Edition / Everitt B.S., Landau S., Leese M. , Stahl D. – New York: Wiley, 2011.
- [Hoppner et al., 2000] Hoppner et al. Fuzzy Cluster Analysis. Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition / F. Hoppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. – New York: Wiley, 2000.
- [James et al., 2005] James C. Fuzzy models and algorithms for pattern recognition and image processing / James C., Bezdek J., James Keller J., Raghu Krishnapuram, Nikhil R. Pal Bezdek J. - New York: Springer, 2005.
- [Pal et al., 1993] Pal, N. R. and Pal, S. K. (1993). A review of image segmentation techniques, Pattern Recognition, 26(9), 1277-1294.
- [Pal et al., 1990] Pal, S. K. and Ghosh, A. (1990). Index of area coverage of fuzzy subsets and object extraction, Patt. Recog. Lett., 11, 831-841.
- [Pei-Gee Peter Ho et al., 2011] Image Segmentation. – Rijeka: InTech, 2011.
- [Stanimirovic, 2017] Stanimirovic I. Pattern Recognition and Image Processing. Edited by I. Stanimirovic. -New York: Arcler Press, 2017.
- [Szeliski, 2011] Szeliski R. Computer Vision. –New York: Springer, 2011.

# SEGMENTATION OF COLOR IMAGES ON THE BASE OF APPARATUS OF FUZZY SETS' THEORY

Khamdamov R.Kh., Saliev E.A., Mirzaeva G.R.

(*grmirzaeva@mail.ru*)

SIC ICT at TUIT named after M. al-Khorazmiy, Tashkent,  
Uzbekistan

One of the main problems in the field of image processing and computer vision is image segmentation and this problem is considered in this article. The algorithm based on the fuzzy sets' theory is proposed for solving this problem. The working capacity of the developed algorithm was tested in solving a number of color image segmentation problems.

**Keywords:** fuzzy sets, characteristic features of images, segmentation of color images, segmentation algorithm.

## ПРИМЕНЕНИЕ FBC–КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ К АНАЛИЗУ ДИНАМИКИ ОЦЕНОК ПЕРСОНАЛА<sup>1</sup>

Сибирев И.В. (*ivan.sibirev@yandex.ru*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В статье рассматривается применение для анализа динамики оценок персонала (KPI) – средств комбинированной кластеризации временных рядов, аппарата нечётких лингвистических термов, методик извлечения основной тенденции и тренда временного ряда. Предлагается алгоритм Fuzzy Behavior Clustering. FBC – подход к кластеризации, основанный на нечётком поведении временных рядов.

**Ключевые слова:** Fuzzy Behavior Clustering, комбинированная кластеризация временных рядов, лингвистические термы, извлечение нечётких тенденций временных рядов.

### 1 Введение

В задачах поддержки принятия решений в организационно-технических системах автоматизированного проектирования актуален вопрос оценки кадров. Полезно изучение динамики параметров оценок кадров, при этом формат данных – числовые временные ряды.

В данной статье предлагается подход к обработке данных (временных рядов) по оценке кадров, основанный на предлагаемом нами методе Fuzzy Behavior Clustering (FBC) [Afanasieva T., 2017]. Этот метод использует представление поведения временных рядов на трех уровнях иерархии с применением лингвистических термов, комбинированную кластеризацию временных рядов [Sibirev I., 2017], нечёткие методы.

В специализированной литературе высок интерес к теме оценок кадров. Существует множество способов и методов оценок эффективности сотрудников.

В работе [Studfiles] приводятся наиболее распространённые методы.

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-00535).

Аттестация – периодическая проверка трудовых качеств сотрудников с определением уровня их профессиональной подготовки (существуют нормативные документы, регламентирующие проведение аттестации).

«Метод 360 градусов», в основе которого лежит агрегация мнений о сотруднике со стороны коллег, начальства и подчинённых. Плюсы: оценка объективна, метод учитывает особенности корпоративной организации и культуры, возможны сигналы обратной связи, производится учёт мнений клиентов. Минусы: требование конфиденциальности, нет учёта результативности сотрудников, данные могут быть искажены респондентами.

Assessment Center (центр оценки) – производится моделирование основных видов деятельности персонала, оценка эффективности с учетом персонально важных качеств, применяются психологические тесты, интервьюирование, специальные упражнения и т.д.

В работе [diplomba] приводятся следующие методы и алгоритмы оценок персонала: метод анкетирования, описательный метод оценки, метод классификации (ранжирование сотрудников по результатам аттестации), метод попарного сравнения (выдвигается наиболее предпочтительный вариант и сотрудники попарно сортируются по убыванию предпочтения), рейтинг или метод сравнения (оценивается степень соответствия сотрудников с занимаемой должностью) и т.д.

Множество используемых параметров оценки обширно. В работах [Grandars], [Чемеков В., 2016] приводится их классификация. Выделяют параметры: естественно-биологические, социально-экономические, технико-организационные, социально-психологические, рыночные и т.д. По отношению к персоналу: профессиональные, деловые, морально-психологические и др. Параметры делят на прямые и косвенные, объективные и субъективные [Grandars] [Чемеков В., 2016].

В этой статье мы используем набор параметров «KPI» (ключевые показатели эффективности). В работе [Чемеков В., 2016] KPI состоят из параметров: срок выполнения, количество и качество работы.

В специализированной литературе отмечают наличие проблемы: отсутствие Российского программного обеспечения, которое бы комплексно автоматизировало построение модели оценок, осуществляло отличный от ручного сбор, агрегацию и обработку данных [diplomba].

Существует проблема неточностей, связанных с искажением респондентами или устареванием данных. Ещё одна проблема в том, что почти все критерии пороговые, то есть подразумевают чёткое разделение на «чёрное и белое». Данные проблемы можно решить, привнося нечёткость. Нечёткие методы подразумевают создание ядер нечётких множеств и описание степени принадлежности к ним. Мы предлагаем сделать шаг в

сторону нечёткости, считая, что после чёткой кластеризации по параметрам КРІ все сотрудники, которые попали в кластер, уже преодолели порог и их параметры относительно однородны. Далее соотносим сотруднику не его вектор параметров, а центр кластера, в который он попал.

Выдавая сотрудникам задания, подходящие для данного кластера, можно стимулировать профессиональный рост, если параметры работника ниже среднего по кластеру. Можно формировать вектор развития для перехода в другой кластер, если параметры – выше среднего по кластеру.

Методы кластеризации используют для поиска аномальных объектов [Афанасьева и др., 2015], что вполне подходит для «поиска талантов», о котором упоминается в работе [Чемеков В., 2016].

Мы живём в динамически изменяющемся мире, поэтому разумно учитывать динамику параметров КРІ работника. В данной статье описывается кластеризация временных рядов параметров КРІ сотрудников алгоритмом FBC.

Традиционно используемые в кластеризации методы не учитывают тип поведения временных рядов, что может привести к огрехам при кластеризации. Для получения более надёжных результатов кластеризации временных рядов в работе [Afanasieva T., 2017] предлагается использовать подход иерархической кластеризации FBC. Он основан на моделировании временных рядов с дальнейшей поточечной кластеризацией. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является использование F-преобразования [Novák, 2016] и понятия нечеткой тенденции [Afanasieva, 2015] в кластеризации временных рядов на основе модели.

## 2 Используемые модели

Рассмотрим модель временного ряда, приведённую в работе [Makridakis, 1998]. Обозначим  $X = \{x_t \in R, t = 1, 2, \dots, n\}$  – исходный временной ряд;  $x_t$  – значение временного ряда  $X$  в момент времени  $t$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  – длина временного ряда.

$$x_t = \alpha * f_t + \beta * \psi_t \quad (1)$$

Формула (1) представляет упрощённую аддитивную модель временного ряда, где  $f_t$  – компонента тренда;  $\psi_t$  – компонента колебаний;  $\psi_t = s_t + e_t$ ,  $s_t$  и  $e_t$  – регулярные и нерегулярные колебания, соответственно.

Если  $\alpha = 0$  (1), то влияние компоненты тренда  $f_t$  на временной ряд  $X$  не оказывается. Если  $\beta = 0$ , то влияние со стороны компоненты колебаний  $\psi_t$  на  $X$  минимально.

Идея FBC подхода заключается в представлении временных рядов  $X$  (2) на трех уровнях иерархии: на уровне общих тенденций  $gt$ , на уровне компонент тренда  $f_t$  и на уровне компонент колебаний  $\psi_t$ .

$$\langle gt, f_t, \psi_t \rangle, \quad (2)$$

При FBC кластеризации временных рядов  $X$  на основе модели (1), временные ряды в одном кластере будут сходны по общим тенденциям  $gt$ ; компонентам тренда  $f_t$  и по компонентам колебаний  $\psi_t$  [Afanasieva T., 2017].

### **3 Кластеризация, на основе моделей временных рядов, с использованием нечеткой тенденции и -преобразования**

В статье [Afanasieva, 2016] общая тенденция рассматривается как описание человеком поведения всего временного ряда в лингвистических терминах «падение», «стабильность», «рост», «колебания», «рост с колебаниями», «падение с колебаниями». Такое лингвистическое представление рассматривается как глобальная характеристика модели временных рядов (1) и полезно при кластеризации на основе модели временных рядов.

Лингвистические термины «стабильность» и «колебания» описывают стационарное поведение временных рядов и соответствуют модели (1) с коэффициентами  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 0$  и  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 1$ , соответственно. Термины «падение» и «рост» относятся к общей тенденции в форме тренда (в модели (1) коэффициенты  $\alpha = -1$ ,  $\beta = 0$  и  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 0$ , соответственно). Термины «рост с колебаниями» (коэффициенты  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$  в модели (1)), «падение с колебаниями» (коэффициенты  $\alpha = -1$ ,  $\beta = 1$  в модели (1)) соответствуют нестационарным временным рядам, в которых общая тенденция содержит как тренд, так и колебания.

Задача кластеризации на основе подхода FBC на уровне общей тенденции – сгруппировать временные ряды набора данных на шесть кластеров по их поведению, выраженному лингвистическими терминами «падение», «стабильность», «рост», «колебания», «рост с колебаниями», «падение с колебаниями». Для кластеризации временных рядов по общей тенденции естественно использовать метрику равенства лингвистических термов их общих тенденций.

В работе [Afanasieva, 2016] предложен алгоритм идентификации общих тенденций (GTI алгоритм), который для временного ряда  $X$  позволяет определить тип общей тенденции, выраженной в вышеупомянутых лингвистических терминах.

Для этой цели используют два шага предварительной обработки заданного временного ряда  $X$ . На первом шаге по временному ряду получают нечеткие временные ряды. На втором шаге оценивают нечеткие различия между двумя соседними нечеткими значениями нечеткого временного ряда (подробности см. в [Afanasieva, 2016]). Затем в алгоритме GTI вычисляется общая тенденция в результате агрегации множества нечетких элементарных тенденций.



Применение алгоритма GTI при кластеризации временных рядов с метрикой равенства лингвистических термов общих тенденций позволяет сгруппировать временные ряды с одинаковым поведением. Мы называем эти группы временных рядов кластерами поведения.

Основная тенденция большинства временных рядов при использовании алгоритма GTI [Afanasieva, 2016] оценивается лингвистическими термами «рост с колебаниями» и «падение с колебаниями». Наличие значительных колебаний во временных рядах делает трендовую составляющую менее выраженной.

Для того, чтобы для таких временных рядов сделать трендовую составляющую  $f_t$  более выраженной, необходимо провести сглаживание временных рядов и извлечение трендов.

Существует несколько подходов к извлечению тренда временных рядов. В работе [Perfileva, 2006] для получения тренда используется базовая нечеткая методика –преобразования, которая имеет два важных свойства при кластеризации временных рядов: сглаживание временных рядов и сжатие временных рядов.

Для применения базовых –преобразований в заданном временном ряду  $X = \{x_t \in R, t = 1, 2, \dots, n\}$  должны быть определены  $q$  основные функции ( $q < n$ ,  $n$  – длина временных рядов). Эти основные функции  $\{A_1, A_2, \dots, A_q\}$  построены на множестве  $h$  равномерных нечетких секций множества  $T = [1, n]$ , для любых  $t \in T$  они обычно представлены в треугольной форме.

Существует две формы основного –преобразования: прямая и обратная [Perfileva, 2006].  $F[x] = (F_1(x), \dots, F_k(x), \dots, F_q(x))$ , где  $k$ -й компонент вектора  $F[x]$  рассчитывается следующим образом [Perfileva, 2006]:

$$F_k(X) = \frac{\sum_{t=1}^n x_t * A_k(t)}{\sum_{t=1}^n A_k(t)}.$$

Обратное –преобразование выводит значения  $\{f_t, t = 1, 2, \dots, n\}$  сглаженного временного ряда  $X$  на основе компонент прямого  $F$ –преобразования [Perfileva, 2006]:

$$f_t = \sum_{k=1}^q F_k(X) * A_k(t).$$

Это представление сглаженного временного ряда рассматривается как трендовый компонент  $f_t$  модели (1). Следует отметить, что чем меньше  $q$ , тем более выражен линейный тренд временных рядов.

Применение обратного –преобразования к временному ряду с общей тенденцией «рост с колебаниями» или «падение с колебаниями» производит декомпозицию временных рядов (другими словами, разделение временных рядов) согласно модели (1) по двум компонентам: тренду и колебаниям.

Важно получить кластеры временных рядов с одинаковыми трендовыми компонентами  $f_t$ .

Чтобы определить местоположение компонента  $f_t$  временных рядов в кластерах «колебание», «рост» и «падение», можно предварительно использовать GTI-алгоритм [Afanasieva, 2016] для оценки их лингвистических термов «падение», «рост», «колебания» и «стабильность». В данной работе полученные кластеры далее будем называть кластерами тренда.

#### 4 Алгоритм кластеризации FBC

Fuzzy Behavior Clustering approach – подход к кластеризации, основанный на нечётком поведении.

Обозначим  $Y = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$  – исходное множество временных рядов различной длины, разного поведения (локальных и глобальных тенденций) и с разными областями значений временного ряда.

FBC алгоритм состоит из двух этапов: группировка и разделение. Сперва все временные ряды множества  $Y$  группируются на 6 кластеров согласно их термам:  $GT = \{\text{«fall»}, \text{«stability»}, \text{«growth»}, \text{«fluctuation»}, \text{«growth with fluctuation»}, \text{«fall with fluctuation»}\}$  – термы нечётких основных тенденций временных рядов. Затем временные ряды из кластеров поведения перемещаются в четыре кластера тренда. Далее применяется численная кластеризация для разделения временных рядов по кластерам тренда и формирования кластеров с близкими числовыми значениями.

Общая схема предлагаемого алгоритма кластеризации FBC включает следующие шаги.

Шаг первый. Преобразование лингвистических термов основных тенденций из множества  $GT$ . Используется GTI алгоритм, основанный на представлении каждого временного ряда.

$$X_i \rightarrow gt_i \in GT, X_i \in Y, i = 1, 2, \dots, m.$$

Шаг второй. Первый уровень кластеризации временных рядов: кластеризация временных рядов по основным тенденциям с использованием эквивалента в виде лингвистического терма основной тенденции из множества  $GT$ .

$$Y = Y_{fall} \cup Y_{growth} \cup Y_{stab} \cup Y_{fluct} \cup Y_{fall\_fluct} \cup Y_{growth\_fluct}.$$

Шаг третий. Второй уровень кластеризации временных рядов: используется модель временного ряда на основе кластеризации по трендам.

Такая кластеризация базируется на разделении каждого временного ряда согласно его поведению.  $Y_{growth\_fluct}$  «growth with fluctuation» и  $Y_{fall\_fluct}$  «fall with fluctuation» оказывают влияние на тренд  $f_t$  и флуктуации  $\psi_t$ , эти составляющие используются в инверсивном –преобразовании [Jain, 1988].

Временные ряды с ярко выраженной трендовой составляющей попадут в кластер с поведением «fall» или «growth». Временные ряды флуктуационной составляющей попадут в кластер «fluctuation».

$$Y_{growt\_fluct} = Y_{growth} \cup Y_{fluct}$$

$$Y_{fall\_fluct} = Y_{fall} \cup Y_{fluct}$$

Двум множествам трендовых компонентов рост и падение  $Y_{growth}$  и  $Y_{fall}$  можно поставить в соответствие множества:  $Y_{growt\_fluct}$  и  $Y_{fall\_fluct}$ . В последние два множества входит множество флуктуационных составляющих  $Y_{fall}$ .

После этого, каждый временной ряд принадлежит одному из множеств: «growth with fluctuation» или «fall with fluctuation».

Далее, по аналогии, происходит разделение множества исходных временных рядов на четыре группы :

$$Y = Y_{fall} \cup Y_{growth} \cup Y_{stab} \cup Y_{fluct}$$

$$TR \subset G, TR = \{\text{«fall»}, \text{«stability»}, \text{«growth» and «fluctuation»}\}.$$

Шаг четвёртый. Третий уровень кластеризации: кластеризация временных рядов на кластеры, описанные в шаге 3. Параметрически ориентированная кластеризация.

А) Получение вектора характеристик, описывающих временной ряд.

Группируем величины, характеризующие временной ряд на  $N1$  кластеров. Затем рассчитываются барицентры кластеров. Из барицентров, отсортированных в хронологическом порядке, строится вектор параметров  $z$ , характеризующих временной ряд. Так получаем множество векторов параметров  $Z = Z_{fall} \cup Z_{growth} \cup Z_{stab} \cup Z_{fluct}$ , характеризующих временные ряды множества  $Y_{fall}, Y_{growth}, Y_{stab}, Y_{fluct}$ .

В) Кластеризация по векторам признаков.

Кластеризация каждого из множеств  $Z_{fall}, Z_{growth}, Z_{stab}, Z_{fluct}$  по векторам признаков на  $N2$  кластеров.

Итак, алгоритм FBC кластеризации делит множество временных рядов  $Y$  на  $4 * N2$  кластеров. Временные ряды при этом могут обладать разным количеством точек и различными флуктуационными составляющими. При этом каждый временной ряд может принадлежать к одному из кластеров поведенческой составляющей и к одному из кластеров трендовой составляющей. Каждый временной ряд может быть охарактеризован нечётким лингвистическим термом и степенью принадлежности.

На рисунке 1 представлена схема, описывающая FBC подход.

В первой части (рис. 1) предлагается предобработка каждого временного ряда множества  $Y$ , основанная на алгоритме GTI, который использует предопределение лингвистического термина тенденции GT. Лингвистический терм основной тенденции присваивается каждому временному ряду. Кластеризацией на основе моделей получаются кластеры, соответствующие тенденциям:  $Y_{fall}, Y_{growth}, Y_{stab}, Y_{fluct}$ .

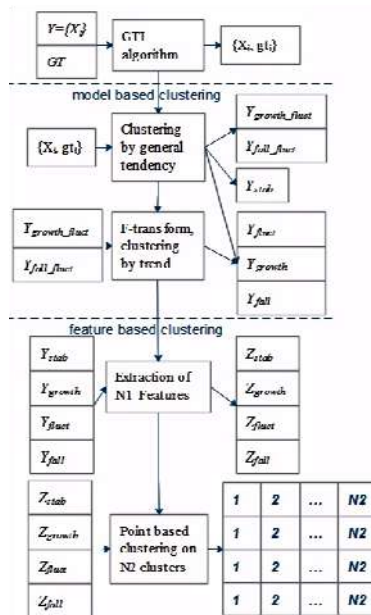


Рисунок 1 – Схема FBC подхода

Каждый временной ряд преобразуется в вектор параметров размерностью  $N1$ . Затем вектор параметров приписывается к одному из кластеров  $Z_{fall}$ ,  $Z_{growth}$ ,  $Z_{stability}$ ,  $Z_{fluctuation}$ . Векторы параметров в каждом из кластеров  $Z_{fall}$ ,  $Z_{growth}$ ,  $Z_{stability}$ ,  $Z_{fluctuation}$  делятся на  $N2$  кластеров, посредством численной кластеризации.

## 5 Заключение

Основной идеей предлагаемого FBC подхода является внедрение в кластеризацию временных рядов группировки поведения временных рядов с использованием лингвистических человеко-ориентированных термов общей тенденции. Кластеризация поведения временных рядов в лингвистических терминах общей тенденции осуществляется на основе нечеткого представления временных рядов [Afanasieva, 2015], F-преобразования [Novák, 2016] и модели временных рядов.

Можно найти сходство временных рядов, учитывая структуру их модели на трех уровнях иерархии. На уровне общей тенденции временные ряды группируются по лингвистическому представлению их поведения, на уровне тенденции создаются более мелкие кластеры.

Последний этап кластеризация с помощью численных методов кластеризации. Алгоритм FBC обладает высоким уровнем модульности и позволяет использовать любые методы численного кластерного анализа. Эксперименты показали, что подход повышает качество кластеризации временных рядов по сравнению с численными методами.

Результаты на любом уровне кластеризации временных рядов могут быть использованы в интеллектуальном анализе данных временных рядов для принятия решений, для прогнозирования, классификации и выявления аномалий.

FBC подход применим, в частности, для оценки динамики параметров KPI персонала. Он позволяет увеличить гибкость и шумоустойчивость оценочного аппарата за счёт использования нечётких методов. Позволяет изучать динамику параметров. Метод применим для автоматизированной обработки данных. Он основан на человеко-ориентированных лингвистических терминах, результат обработки данных удобен для человеческого восприятия.

### Список литературы

- [Афанасьева и др., 2015] Афанасьева Т.В., Заварзин Д.В., Сибирев И.В. Алгоритм поиска и удаления аномалий временных рядов на основе применения кластеризации // Радиотехника. - Москва. - 2015. С. 59-62
- [Afanasyeva, 2015] T. Afanasyeva, N. Yarushkina, M. Toneryan, D. Zavarzin, A. Sapunkov and I. Sibirev. Time series forecasting using fuzzy techniques. In Proc. of IFSA-EUSFLAT, 2015, pp. 1068-1075.
- [Afanasyeva, 2016] T. Afanasyeva, A. Sapunkov. Selection of Time series Forecasting Model Using a Combination of Linguistic and Numerical Criteria. In Proc. of 2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2016, pp. 341-345.
- [Afanasyeva T., 2017] Afanasyeva T., Yarushkina N., Sibirev I. Time Series Clustering using Numerical and Fuzzy Representations // International Journal of Fuzzy System Applications. – Japan: Otsu 2017.
- [Jain, 1988] Jain A. K., and R. C. Dubes. Algorithms for Clustering Data. Prentice-Hall advanced reference series. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1988.
- [Makridakis, 1998] S. Makridakis, S.C. Wheelwright, and R.J. Hyndman. Forecasting methods and applications. John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [Novák, 2016] Novák V., Perfilieva I., Dvorak A. Insight into Fuzzy Modeling. Wiley, 2016.
- [Perfilieva, 2006] I. Perfilieva, Fuzzy transforms: theory and applications. In Fuzzy Sets Systems, 2006, 157, pp. 993–1023.
- [Sibirev I., 2017] Sibirev I., Afanasyeva T. Development and Study of a Combined Algorithm for Temporal Series Clustering // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. – Республика Беларусь: Минск. 2017. С. 121-126.
- [Чемеков В., 2016] Чемеков В., Оценка по KPI работников бэк-офиса. Разберем по шагам. [Электронный ресурс]// [сайт].URL: <http://hr-media.ru/otsenka-po-kpi-robotnikov-bek-ofisa-razberem-po-shagam/> (дата обращения: 11.08.2017).

- [diplomba] diplomba.ru, Методы оценки персонала [Электронный ресурс]// " : [сайт].URL: <http://diplomba.ru/work/30404> (дата обращения: 11.08.2017).
- [Grandars] Grandars.ru, Оценка персонала – система, методы и критерии оценки [Электронный ресурс] // [сайт].URL: <http://www.grandars.ru/college/biznes/ocenka-personala.html> (дата обращения: 11.08.2017).
- [Studfiles] Studfiles.net, Управление персоналом [Электронный ресурс]// Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ": [сайт].URL: <https://studfiles.net/preview/938148/> (дата обращения: 11.08.2017).

## THE APPLICATION OF FBC–CLUSTERING OF TIME SERIES TO ANALYZE THE DYNAMICS OF ASSESSMENT PERSONNEL

Sibirev I.V. (*ivan.sibirev@yandex.ru*)  
Ulyanovsk State Technical University, Russia, Ulyanovsk

In this paper discusses the application for analysis dynamic assessment personnel (KPI) – by tools of combined clustering time series and fuzzy linguistic terms, methods of extracting the main trend and trend of the time series. We offer the algorithm for Fuzzy Clustering Behavior. FBC – is the approach to clustering based on fuzzy behavior of the time series.

**Keywords:** Fuzzy Clustering Behavior, combined clustering of time series, the linguistic terms, extraction of fuzzy trends of time series.

## КОРРЕКТИРОВКА ПРОГНОЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТРИК ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ ИХ АНОМАЛИЙ<sup>1</sup>

Тимина И.А. (*i.timina@ulstu.ru*)

Эгов Е.Н. (*kater73ru@rambler.ru*)

Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

Данная работа представляет способ использования аномалий, встречающихся на временных рядах (ВР) метрик проекта, при корректировке прогнозирования проектной деятельности. Описан анализ метрик проектной деятельности. Разработан и реализован алгоритм прогноза на основе нечетких тенденций ВР метрик. Предложен способ поиска аномалий ВР на основе энтропии. Построена формула меры энтропии для нечеткого ВР. Алгоритм использует зависимость прогноза от мер энтропии. Для прогнозирования используется гипотеза на заданный период на основе тенденции. Проведены эксперименты.

**Ключевые слова:** временной ряд, метрики программного обеспечения, энтропия, прогнозирование.

### 1 Введение

Одной из важнейших задач успешной организации проектной деятельности является эффективное управление массивом проектов за счет прогнозирования их развития. Для того чтобы решить проблему мониторинга состояния проектной деятельности необходимо иметь инструмент измерения характеристик проектной деятельности, который позволяет отследить динамику совокупности проектов, идентифицировать проблемы и своевременно принять корректирующие регулирующие воздействия, в том числе перераспределение ресурсов между проектами [Мошкин и др., 2016]. В связи с этим, создание средства для управления проектом на основе прогноза значений проектных метрик,

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-732070).

представленных в форме ВР, представляется актуальной и важной научно-технической задачей.

Представленная статья посвящена решению проблемы мониторинга проекта посредством применения средств анализа состояния метрик проекта программного обеспечения, загруженных в систему контроля версий с последующим прогнозированием и его корректировкой на основе мер энтропии.

## 2 Исследование метрик проектной деятельности

Модель анализа и управления совокупности проектов в процессе проектной деятельности разработана.

$$\{C_t, R_t, B_t, I_t, F_t, R^{BI}, R^{IF}\}, \quad (1)$$

где  $C_t$  – временной ряд изменений (*commits*),

$R_t$  – временной ряд выпусков (*release*),

$B_t$  – временной ряд ошибок (*bugs*),

$I_t$  – временной ряд улучшений (*improvement*),

$F_t$  – временной ряд задач (*NewFeature*),

$R^{BI}$  – зависимость количества *bugs* от *improvements*,

$R^{IF}$  – зависимость новых функциональных свойств от количества усовершенствований (*New Features* от *improvements*).

Дискретные ряды представляют данные проекта.

Модель временного ряда для решения данной задачи построена в два этапа:

1. Дискретный временной ряд  $Y = \{t_i, x_i\}$ ,  $i \in [1, n]$ , где  $t_i$  – некоторый момент времени,  $x_i$  – уровень временного ряда, преобразован в нечеткий временной ряд  $\tilde{Y} = \{t_i, \tilde{x}_i\}$ ,  $i \in [1, n]$ ,  $X = \{x_i\}$ ,  $\tilde{x}_i \in \tilde{X}$ , где  $\tilde{x}_i$  – нечеткая метка [Herbst и др., 2009].

2. Нечеткий временной ряд преобразован в временной ряд нечетких элементарных тенденций. Он обозначен  $\tau_i = ETend(\tilde{x}_i, \tilde{x}_{i+1})$ , где  $ETend$  – функционал, который реализован на основе операций:  $Ttend$  – определение типа тенденции и  $Rtend$  – определение интенсивности тенденции по специальной лингвистической шкале, построенной для исходного временного ряда [Kasprzyk и др., 2009].

Несколько временных рядов, четких числовых и нечетких лингвистических получены в результате описанных преобразований (например, временной ряд параметров нечетких тенденций).

Обобщенная модель нечеткого временного ряда нечеткой тенденции представлена [Pedrycz и др., 2013]:

$$\tau_i = f(\tau_{i-1}, \dots, \tau_{i-d}), \quad (2)$$

где  $d$  – фиксированное число, параметр модели;

$\tau_i, \tau_{i-1}, \dots, \tau_{i-d}$  – последовательность нечетких тенденций;



$f$  – некоторая нечеткая зависимость.

Каждая нечеткая тенденция  $\tau \in \mathfrak{T}$  нечеткого временного ряда представлена структурной моделью [Афанасьева, 2014]:

$$\tau = \langle \tilde{v}, \tilde{a}, \Delta t, \mu \rangle, \quad (3)$$

где  $\tau$  – наименование нечеткой тенденции из множества  $\mathfrak{T}$ ,  $\tau \in \mathfrak{T}$ ;

$\tilde{v}$  – тип нечеткой тенденции,  $\tilde{v} \in \tilde{V}$ , {Падение, Рост, Стабильность};

$\tilde{a}$  – интенсивность нечеткой тенденции,  $\tilde{a} \in \tilde{A}$ , {Сильное, Среднее, Слабое};

$\Delta t$  – продолжительность нечеткой тенденции,  $\Delta t \in \Delta T$ ;

$\mu$  – функция принадлежности участка НБР, ограниченного интервалом  $\Delta t$ , нечеткой тенденции  $\tau$ .

Нечеткая тенденция нечеткого временного ряда классифицирована в зависимости от  $\Delta t$ :

- элементарная нечеткая тенденция  $T \in \mathfrak{T}$  ( $\Delta t = 1$ ),
- локальная нечеткая тенденция  $NT \in N\mathfrak{T}$  ( $1 < \Delta t < n - 1$ )
- основная (общая) нечеткая тенденция  $GT \in G\mathfrak{T}$  ( $\Delta t = n - 1$ ).

Временной ряд нечеткой элементарной тенденции представлен в виде (TTend, RTend – процедуры получения нечетких множеств  $\tilde{v}_t$  и  $\tilde{a}_t$ ):

$$\tilde{v}_t = TTend(\tilde{x}_t, \tilde{x}_{t+1}), \tilde{a}_t = RTend(\tilde{x}_t, \tilde{x}_{t+1}), \mu_t = \min(\mu(\tilde{x}_t), \mu(\tilde{x}_{t+1})). \quad (4)$$

Уровни временного ряда описаны компонентами нечеткой тенденции – тип и интенсивность:  $\tau = \{t_i, \tau_i\}$ ,  $i \in [1, n]$ , где  $\tau = \langle \tilde{v}, \tilde{a}, \mu \rangle$ .

Кластеры  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$  подобных нечетких меток  $\tilde{x}_i$  для выделения доминирующей тенденции определены. Для каждого кластера  $s \in S$  определена мощность.

FCM-алгоритм использован для нечеткой кластеризации тенденций. Он основан на минимизации целевой функции [Кроль и др., 2011]:

$$J = \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^N \mu_{ij}^m \|x_i - c_j\|, \quad (5)$$

где  $N$  – количество показателей;

$C$  – количество кластеров;

$\mu_{ij}$  – степень принадлежности объекта  $i$  кластеру  $j$ ;

$m$  –  $\forall$  действительное число,  $>1$ ;

$x_i$  –  $i$ -я тенденция множества тенденций НБР;

$c_j$  –  $j$ -й кластер;

$\|x_i - c_j\|$  – норма характеризует расстояние от центра кластера  $j$  до тенденции  $i$ .

Метод моделирования нечеткой элементарной тенденции использован для прогнозирования числовых значений и нечетких тенденций состояния проекта организации в данном продукте. Прогноз использует проверку гипотез:

**Гипотеза 1. Гипотеза сохранения/смены тенденции.** Тенденция за предыдущий период рассмотрена. Формуле прогнозируемого значения:

$$\tau_{t+1} = \tau_t + \tau_p, \quad (6)$$

где  $\tau_{t+1}$  – прогноз на следующий период времени;

$\tau_t$  – реальное значение в момент времени  $t$ ;

$\tau_p$  – значение тенденции за предыдущий период времени.

**Гипотеза 2. Гипотеза устойчивости/неустойчивости тенденции.** Скользящее среднее использовано для прогнозирования

$$\tau_{t+1} = \tau_t + G\tau_p, \quad (7)$$

где  $G\tau_p$  – значение доминирующей нечеткой тенденции.

Тенденция за предыдущий выбранный период рассмотрена. Преобладающий кластер тенденции выбран. Прогноз по приведённой выше формуле вычислен. Тенденция построена. Оптимистический прогноз при одинаковых количествах вхождений тенденций использован. Наибольшее среднее значение тенденций выбрано.

**Гипотеза 3. Прогнозирование на заданный период на основе НЭТ.** Этапы алгоритма прогнозирования на период на основе тенденций:

Эксперт задает количество рассматриваемых тенденций за предыдущий период. Например, за полгода - набор тенденций **A**. Либо он задает шаблон набора тенденций. Предположительная тенденция следующая за этим набором известна.

$$\{\tau_{t_{n-m}}, \dots, \tau_{t_{n-1}}, \tau_{t_n}\} \quad (8)$$

1. Поиск набора **A** тенденции во всех остальных предыдущих периодах.

$$\{\tau'_{t_{n-l-k}}, \dots, \tau'_{t_{n-l-(k-1)}}, \tau'_{t_{n-l}}\} \quad (9)$$

2. Такой набор **B** найден, в котором, учитывается какая тенденция **C** стоит после этого найденного набора **B**. Прогноз равный тенденции **C** построен.

$$\tau_{t+1} = \tau_t + \tau'_{t_{n-l+1}} \quad (10)$$

3. Такого набора **B**, который совпадал бы с набором **A**, не найден. Поиск набора повторен, но уже ищется не полное его совпадение, а с отклонением в одну тенденцию. Это повторяется, пока не будет найден подходящий набор тенденций **B** [Тимина, 2014].

Для выбора наилучшей гипотезы дополнительно вводится энтропийный ВР [Эгов и др., 2016].

3 Меры энтропия для нечеткого временного ряда

Энтропийный ВР можно представить следующей моделью:

$$\{\tilde{x}_i, H_i^\mu, H_i^T\}, \quad (11)$$

где  $\tilde{x}_i$  – значение нечеткой метки в  $i$ -й точке,

$H_i^\mu$  – значение меры энтропии по функции принадлежности в  $i$ -й точке,

$H_i^T$  – значение меры энтропии по нечеткой тенденции.

Энтропийный ВР позволяет более тонко реагировать на изменения во ВР.

**Мера энтропии по функции принадлежности**

Мера энтропии по функции принадлежности получается по формуле [Ярушкина и др., 2015]:

$$H_i^\mu = H(\tilde{A}) + H(\tilde{A}^c), \quad (12)$$

где

$$H(\tilde{A}) = -K \sum_{j=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_j) \ln(\mu_{\tilde{A}}(x_j)), \quad (13)$$

где  $K$  – положительная константа,

$\tilde{A}^c$  – дополнение  $\tilde{A}$ .

$\mu_{\tilde{A}}(x_j)$  – значение функции принадлежности точки  $x$  к  $j$ -му кластеру.

Функция принадлежности вычисляется по-разному. Это зависит от варианта преобразования ВР в НВР. Например, при фаззификации функция принадлежности задается по формулам. Если брать треугольную функцию принадлежности, то она имеет вид:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{x-b}, & b < x \leq c, \\ 0, & x < a, x > c, \end{cases} \quad (14)$$

где  $x$  – значение точки ряда.

$[a, c]$  – диапазон изменения переменной.

$b$  – наиболее возможное значение переменной.

Если НВР получается методами кластеризации, то в качестве значений функции принадлежности точек к кластерам берется матрица принадлежности.

Если брать в качестве примера FCM-кластеризацию, то матрица принадлежности  $\mu(x)$  высчитывается по следующей формуле:

$$\mu_j = \frac{1}{\sum_{I=1}^C \left( \frac{\|x - c_j\|}{\|x - c_I\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad (15)$$

$\mu_j$  – степень принадлежности  $j$ -у кластеру.

$c_j$  – вектор центра  $j$ -го кластера.

$c_I$  – вектор центра  $I$ -го кластера.

При этом если для некоторого кластера  $j \|x - c_j\| = 0$ , то  $\mu_j = 1$ , а для всех остальных кластеров равнялась 0.

Данная мера энтропии не способна четко фиксировать смену нечетких меток ВР. Она показывает, с какой вероятностью точка будет относиться к метке. При этом если энтропия близка или выше 1, то точка находится в «пограничном» положении. Такая точка может относиться с равной долей

вероятности к двум разным нечетким меткам. Поэтому данный способ нахождения меры энтропии востребован при прогнозировании ВР.

Для меры энтропии по функции принадлежности было определено три лингвистических выражения, описывающих ее состояние:

- достоверно – это состояние характеризуется низким значением меры энтропии. Точка однозначно принадлежит к нечеткой метке;
- вероятно – это состояние характеризуется средним значением метки. Точка с большей долей вероятности (но не однозначной) принадлежит к нечеткой метке;
- неопределенно – это состояние характеризуется высоким значением меры энтропии. Точка может с равной долей вероятности относиться к двум нечетким меткам.

Формулу (12) преобразовали. Ввели замену числового значения на лингвистическое выражение меры энтропии по функции принадлежности.

### ***Мера энтропии по нечеткой тенденции***

Данный метод основывается на предположении, что хаос в системе наступает, когда начинаются отклонения в тенденции показателя. Т.е. наступает ситуация неопределенности, когда становится сложно предугадать дальнейшее поведение системы. Эту ситуацию можно определить отклонением прогнозного значения тенденции. Оно получается на основе разницы значений тенденции на двух предыдущих точках от фактического значения тенденции в этой точке. Если прогнозное и фактическое совпадают, то можно говорить о стабильности системы, иначе о наличии отклонения. Оно может быть незначительным или же привести систему в состояние хаоса и неопределенности [Афанасьева и др., 2016].

$$H_i^T = \tilde{t}_i^{\text{факт}} - \tilde{t}_i^{\text{прогноз}}, \quad (16)$$

где  $\tilde{t}_i^{\text{прогноз}} = \text{GetForecastTrend}(\tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}}, \tilde{t}_{i-2}^{\text{факт}})$

Функция  $\text{GetForecastTrend}(\tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}}, \tilde{t}_{i-2}^{\text{факт}})$  на основе значений элементарных тенденций в двух предыдущих точках вычисляет динамику тенденции. После этого она определяет положение точки с координатами  $(\tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}}, \Delta \tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}})$  на фазовой плоскости. Исходя из имеющихся схем поведения тенденции на фазовой плоскости, выбирается наиболее вероятная. Далее определяется значение элементарной тенденции в следующей точке, после точки  $(\tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}}, \Delta \tilde{t}_{i-1}^{\text{факт}})$ . Оно и будет прогнозным значением элементарной тенденции.

Аналогично с мерой энтропии по функции принадлежности, значение энтропии по нечеткой тенденции было заменено на лингвистическое выражение.

Для этого были определены три лингвистических выражения, описывающих ее состояние:

- стабильность. Состояние характеризуется нулевым, или близким к нулю, значением. Показывает отсутствие изменения значения тенденции ряда;
- изменение. Состояние характеризуется повышенным значением. Показывает изменения во ВР;

- аномалия. Состояние характеризуется высоким значением. Показывает нестандартное поведение ВР.

Полученный ЭВР позволят определить, какую гипотезу лучше использовать. Алгоритм выбора гипотезы будет следующим:

Если состояние «Изменение» встречается редко и значение меры энтропии по функции принадлежности в последней точке «Достоверно», то выбирается гипотеза о сохранении текущей тенденции:

$$if(frequency(H^T == \text{Изменение}) \rightarrow 0 \text{ AND } H_{last}^\mu == \text{Достоверно} \text{ then Select(Гипотеза 1)}).$$

Если состояние «Изменение» встречается часто, но отсутствует периодичность, то выбирается гипотеза об устойчивости доминирующей тенденции:

$$if(frequency(H^T == \text{Изменение}) \rightarrow \max \text{ AND } period(H^T == \text{Изменение}) == NULL \text{ then Select(Гипотеза 2)}).$$

Если имеется периодичность, то выбирается гипотеза на заданный период:

$$if(fperiod(H^T == \text{Изменение}) \neq NULL) \text{ then Select(Гипотеза 3)}.$$

Если невозможно по мере энтропии по нечеткой тенденции определить гипотезу, то выбор делается на основе значений в последней точке.

Если значение меры энтропии по функции принадлежности «Достоверно», а по нечеткой тенденции «Стабильность», то выбирается гипотеза о сохранении тенденции:

$$if(H_{last}^T == \text{Стабильность} \text{ AND } H_{last}^\mu == \text{Достоверно} \text{ then Select(Гипотеза 1)}).$$

Если значение меры энтропии по функции принадлежности «Вероятно» или «Неопределенно» или значение меры энтропии по нечеткой тенденции «Изменение» или «Аномалия», то выбирается гипотеза о доминирующей тенденции.

$$if((H_{last}^T == \text{Изменение} \text{ OR } H_{last}^T = \text{Аномалия}) \text{ OR } (H_{last}^\mu == \text{Вероятно} \text{ OR } H_{last}^\mu == \text{Неопределено}) \text{ then Select(Гипотеза 2)}).$$

Полученный ЭВР данным алгоритмом позволяет выявить б скорректировать наиболее верную гипотезу для прогноза.

### 3 Эксперименты

Для исследований были взяты данные метрик событий открытого проекта «FreeNAS9». Взяты ВР «закрытых» «Bug» и «Feature» [FreeNAS9,

2017]. В таблицах 1, 2 представлены результаты анализа и прогнозирования метрик проектной деятельности с исследованием их схожести для выявления зависимости.

Таблица 1 – Анализ данных проекта

Тип метки	Общая тенденция	Доминирующая тенденция	Мера сходства	Корреляция	Интерпретация корреляции
<i>Bug</i>	Рост	Стабильность	0,75	0,9387	Сильная
<i>New Feature</i>	Рост	Стабильность			

Таблица 2 – Результаты прогнозирования с учетом влияния зависимости рядов

BP зависимый	BP-предиктор	Гипотеза 1	Гипотеза 2	Гипотеза 3
Bug	New Feature	Падение среднее	Рост сильный	Падение среднее

В таблице 2 представлен прогноз появления «Bug». Графически прогноз изображен на рисунке 1.

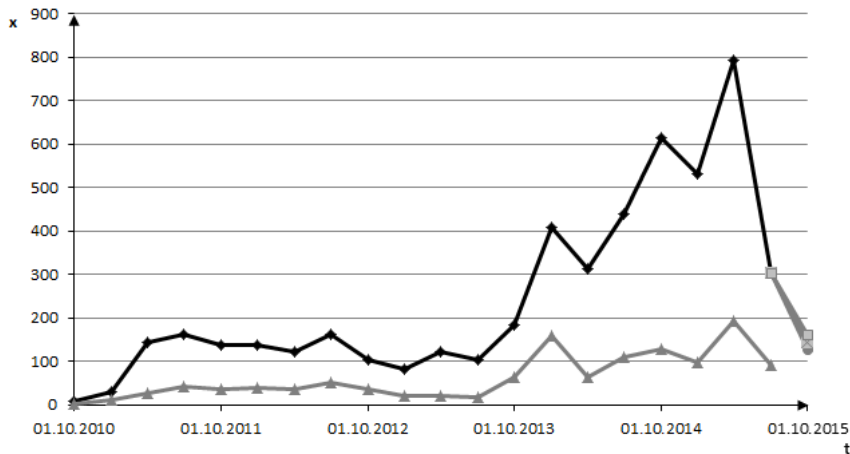


Рисунок 1 – Прогнозирование появления ошибок в проекте «FreeNAS9» с учетом влияния добавления новых функциональных возможностей в проект (гипотеза прогноза на заданный период)

В таблице 3 представлен энтропийный BP по метрикам проекта FreeNAS9.

Таблица 3 – BUG-FreeNAS9 (closed)

Номер точки	Мера энтропии по функции принадлежности	Мера энтропии по нечеткой тенденции
1	Достоверно	Стабильность
2	Достоверно	Стабильность
3	Достоверно	Стабильность
4	Достоверно	Стабильность
5	Достоверно	Стабильность
6	Достоверно	Стабильность
7	Достоверно	Стабильность
8	Достоверно	Стабильность
9	Вероятно	Стабильность
10	Достоверно	Стабильность
11	Вероятно	Изменение
12	Достоверно	Стабильность
13	Вероятно	Стабильность
14	Вероятно	Изменение
15	Достоверно	Изменение

#### 4 Заключение

На основе полученных данных, можно сделать следующий вывод: гипотезу о сохранении тенденции применять не стоит, так как мера энтропии по нечеткой тенденции в последней точке находится в состоянии «Изменение». Это говорит о смене тенденции в ВР. Наличие периодичности при сменах указывает на использование гипотезы на заданный период.

#### Список литературы

- [Мошкин и др., 2016] Мошкин В.С., Пирогов А.Н., Тимина И.А., Шишкин В.В., Ярушкина Н.Г. Интеллектуальный анализ данных и онтологический подход в управлении проектами // Автоматизация процессов управления. 2016. Т. 4(46). С. 84-92.
- [Herbst и др., 2009] Herbst G., Bocklish S.F. Online Recognition of fuzzy time series patterns // 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society for Fuzzy.
- [Kacprzyk и др., 2009] Kacprzyk J., Wilbik A. Using Fuzzy Linguistic summaries for the comparison of time series // 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society for Fuzzy Logic.

- [Pedrycz и др., 2013] Pedrycz W., Chen S.M. Time Series Analysis, Modeling and Applications: A Computational Intelligence Perspective (e-book Google) // Intelligent Systems Reference Library. 2013. Vol. 47. P. 404.
- [Афанасьева, 2014] Афанасьева Т.В. Прогнозирование локальных тенденций временных рядов в задачах анализа больших данных // Автоматизация процессов управления. 2014. № 4 (38). С. 42-47.
- [Кроль и др., 2011] Кроль Т.Я., Харин М.А. Методы решения задачи кластеризации и прогнозирования в электронном архиве // Молодой ученый. 2011. Т. 1. № 6. С. 135-137.
- [Тимина, 2014] Тимина И.А. Корректировка гипотез прогноза для извлечения знаний о временных рядах // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2014 Труды конференции. 2014. С. 68-76.
- [Эгов и др., 2016] Эгов Е.Н., Ярушкина Н.Г., Яшин Д.В. Нечеткое моделирование и генетическая оптимизация временных рядов в интеллектуальной системе технической диагностики // Радиотехника. 2016. № 9. С. 64-71.
- [Ярушкина и др., 2015] Ярушкина Н.Г., Воронина В.В., Эгов Е.Н. Применение энтропийной меры в диагностике технических временных рядов // Автоматизация процессов управления. 2015. № 2. С. 55-63.
- [Афанасьева и др., 2016] Афанасьева Т.В., Заварзин Д.В. Описание подхода к извлечению знаний об аномалиях локальных тенденций временного ряда // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы VI Международной научно-технической конференции. 2016. С. 305-308.
- [FreeNAS9, 2017] FreeNAS 9 [Электронный ресурс] // Bug Tracking System: [сайт]. URL: <https://bugs.pcbsd.org/projects/freenas> (дата обращения: 30.08.2017).

## CORRECTION OF THE PROJECTION OF THE PROGRESSIVE TIMES OF THE METRICS OF PROJECT ACTIVITY WITH THEIR ACCOUNTING THEIR ANOMALIES

Timina I.A. (*i.timina@ulstu.ru*)

Egov E.N. (*kater73ru@rambler.ru*)

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

This paper presents a way to use anomalies that occur on the time series (TS) of the project metrics, when adjusting projected projections. Analysis of project activity metrics is described. A prediction algorithm based on fuzzy trends of TS metrics has been developed and implemented. A method for searching for anomalies of TS based on entropy is proposed. The formula for the entropy measure for fuzzy TS is constructed. The algorithm uses the dependence of the



forecast on the measures of entropy. For forecasting, a hypothesis for a given period is used based on the trend. Experiments were carried out.

**Keywords:** time series, software metrics, entropy, forecasting.

## НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ В ОЦЕНИВАНИИ ПАРАМЕТРОВ РИСКОВАННОГО ПОВЕДЕНИЯ ИНДИВИДОВ<sup>1</sup>

Суворова А.В. (*suvalv@gmail.com*)

Тулупьев А.Л. (*alt@iias.spb.su*)

Санкт-Петербургский институт информатики и  
автоматизации РАН, Санкт-Петербург

В работе рассмотрен подход к учету неточности в исходных данных в рамках моделирования рискованного поведения на основе байесовской сети доверия. Проведены вычислительные эксперименты для сравнения предсказания интенсивности поведения с использованием и без использования предложенного подхода. Показано, что рандомизация ответов приводит к улучшению качества предсказания.

**Ключевые слова:** моделирование поведения, неточное свидетельство, байесовские сети доверия, оценка интенсивности, рискованное поведение, рандомизация.

### 1 Введение

Байесовская сеть доверия (БСД) – один из классов вероятностных графических моделей, описывающий случайные величины и взаимосвязи между ними (в форме условных независимостей) [Pearl, 2000]. Аппарат байесовских сетей доверия позволяет представлять сложные взаимосвязи в удобной форме, делать выводы при поступлении новых данных и обрабатывать данные с неопределенностью [Тулупьев и др., 2006]. Кроме того, БСД позволяют комбинировать различные типы источников знаний: они могут быть полностью построены на статистических данных, определены экспертными знаниями или и тем, и другим одновременно [Neapolitan, 2003]. Подобные особенности БСД особенно важны в исследованиях, включающих и сбор статистических данных, и вовлечение экспертов [Neapolitan, 2003]. К таким направлениям относится и

---

<sup>1</sup>Статья содержит материалы исследований, частично поддержанных грантами РФФИ 16-31-60063-мол\_а\_дк, 16-31-00373-мол\_а.

моделирование рискованного поведения индивидов, где теории, результаты предыдущих исследований, сведения о выявленных взаимосвязях дополняются эмпирическими данными.

Знание характеристик поведения позволяет принимать обоснованные решения, делать прогнозы, планировать затраты и осуществлять мониторинг. Одной из областей применения является в том числе и анализ надежности оператора (human reliability analysis) в социотехнических системах [Mkrtchyan et al., 2015; Trucco et al, 2008]. Часто подобные задачи сводятся к вычислению вероятности ошибки персонала [Jitwasinkul et al., 2016].

В работах [Суворова, 2013, Суворова и др., 2014] предложен подход к построению байесовской сети доверия для моделирования рискованного поведения на основе данных о нескольких последних эпизодах такого поведения.

## 2 Модель рискованного поведения

В качестве исходных данных для вычисления оценки интенсивности рискованного поведения было предложено [Тулупьева и др., 2008] использовать сведения о трех последних эпизодах поведения  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  (точнее – длины интервалов между этими эпизодами) и сведения о минимальном и максимальном интервале ( $t_{\min}$  и  $t_{\max}$ ) между эпизодами за исследуемый промежуток времени. Моделью поведения выступает пуассоновский случайный процесс, то есть длины интервалов между эпизодами распределены экспоненциально. Кроме того, модель содержит также оцениваемую величину  $\lambda$ , соответствующую интенсивности поведения, и скрытую переменную  $n$  – число эпизодов, произошедших за исследуемый промежуток времени.

Структура модели задана экспертно (рис.1) [Суворова, 2013]. В [Suvorova et al., 2016] показано, что как на искусственных, так и на реальных данных качество предсказания модели с экспертной структурой незначительно отличается от структур, обученных автоматически по данным.

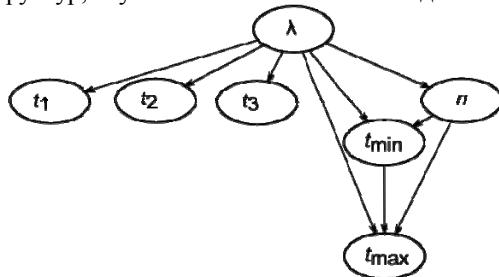


Рисунок 1 – Структура БСД для моделирования рискованного поведения

Для построения байесовской сети возможные значения всех непрерывных величин ( $\lambda$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) разбиваются на дискретные интервалы; таким образом, распределения являются мультиномиальными. Во всех примерах, рассмотренных в данной работе, используется дискретизация вида: для случайной величины, соответствующей интенсивности поведения  $\lambda^{(1)} = [0; 0,05)$ ,  $\lambda^{(2)} = [0,05; 0,1)$ ,  $\lambda^{(3)} = [0,1; 0,15)$ ,  $\lambda^{(4)} = [0,15; 0,2)$ ,  $\lambda^{(5)} = [0,2; 0,3)$ ,  $\lambda^{(6)} = [0,3; 0,5)$ ,  $\lambda^{(7)} = [0,5; 1)$ ,  $\lambda^{(8)} = [1; \infty)$ ; для случайных величин  $t_i$ ,  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ , характеризующих длины интервалов между эпизодами,  $t^{(1)} = [0; 0,5)$ ,  $t^{(2)} = [0,5; 1)$ ,  $t^{(3)} = [1; 3)$ ,  $t^{(4)} = [3; 7)$ ,  $t^{(5)} = [7; 14)$ ,  $t^{(6)} = [14; 30)$ ,  $t^{(7)} = [30; 180)$ ,  $t^{(8)} = [180; \infty)$ .

Полученный ответ о длине интервала преобразуется в значение одного из дискретных интервалов, которое, в свою очередь, затем используется в качестве свидетельства для осуществления вероятностного вывода и получения апостериорного распределения значений интенсивности поведения. В качестве предсказания выбирается интервал с максимальной вероятностью.

Однако, в случае опроса респондентов об особенностях их поведения, данные поступают на естественном языке, т.е. являются в значительной степени нечеткими и неполными. Отметим, что респонденты используют в своих высказываниях преимущественно следующие единицы измерения: часы, дни, недели, месяцы, полугод, года. Причем использованная единица измерения несет в себе информацию о точности измерения. Поясним это на примере двух высказываний: «семь дней назад» и «неделю назад». Когда респондент использует формулировку «семь дней назад», это свидетельствует о высокой «надежности» припоминания и его уверенности в том, что событие произошло ровно семь дней назад. Когда респондент использует формулировку «неделя назад», он априорно снижает точность высказывания. Неделя назад — это может быть пять дней назад, а в каких-то случаях — восемь. Таким образом, можно говорить о гранулярности получаемых ответов.

Респондент не готов высказаться более точно, чем это определено «размерами» гранул. Если в опросе настаивать на указании более точных ответов, например, просить отметить конкретную дату, то можно получить формально более точные, а фактически не соотносящиеся с действительностью результаты.

Кроме того, более давние события могут иметь больший разброс реальных значений по сравнению с полученным ответом, ответ «семь недель назад» может иметь погрешность большую, чем «неделю назад» из-за особенностей припоминания.

В силу существенной неопределенности высказываний на естественном языке получить точную численную оценку  $\hat{t}_i$  затруднительно. Однако ее можно рассмотреть как случайную величину, построенную над другими случайными величинами. Особенности процесса построения такой случайной величины подробно рассмотрены в [Пашенко и др., 2009].

Для каждого значения  $t_i$  через характеристику разброса  $\delta$  определяется интервал (возможных значений) в днях:  $[t_i(1 - \delta x), t_i(1 + \delta x)]$ , где  $x$  — коэффициент перевода рассматриваемой единицы измерения в дни [Пашенко и др., 2009].

Заметим, что любая точка из интервала  $[t_i(1 - \delta x), t_i(1 + \delta x)]$ , возможна в качестве значения оценки  $t_i$ ; что, однако, не означает, что точки из этого интервала равновероятны в качестве такого. Сведения о такого рода отношениях между допустимыми значениями можно задать с помощью их распределения вероятностей. В зависимости от предположений о характере ответов респондента для задания случайной величины  $\hat{t}_i$  оценки  $t_i$  используется равномерное, биномиальное или какое-либо другое вероятностное распределение.

Предлагается использовать рандомизированную случайную величину  $\hat{t}_i$  в качестве «скорректированного» свидетельства. Если  $[t_i(1 - \delta x), t_i(1 + \delta x) \subseteq t(k)$ ,  $k=1, \dots, 8$ , то есть интервал полностью содержится в каком-то из промежутков дискретизации, то поступившее свидетельство в дискретной БСД ничем не отличается от ранее рассмотренного случая. Если же  $[t_i(1 - \delta x), t_i(1 + \delta x) \not\subseteq t(k)$ , то вероятности пересечений  $t_i(1 - \delta x) \cap t(k)$ ,  $t_i(1 + \delta x) \cap t(k)$ ,  $k=1, \dots, 8$ , вычисленные в соответствии с распределением  $\hat{t}_i$ , рассматриваются как веса соответствующих свидетельств. Например, если получен ответ «7 дней» о длине последнего интервала, то при  $\delta = 0,25$  получим интервал возможных значений в днях  $[5,25; 8,75]$ . И такой ответ преобразуется в два свидетельства  $t^{(4)}$  и  $t^{(5)}$  с весами, соответствующими вероятности попадания в интервалы  $[5,25; 7)$  и  $[7; 8,75]$ , то есть 0,5 и 0,5 в случае любого симметричного распределения  $\hat{t}_i$ . Для каждой комбинации свидетельств вычисляется апостериорное распределение значений интенсивности, затем вычисляется взвешенное распределение; в качестве итогового предсказания выбирается значение с наибольшей вероятностью.

### 3 Эксперименты

Для тестирования модели была разработана программа, генерирующая «эпизоды поведения» в соответствии с теоретическими предположениями модели, то есть в соответствии с пуассоновской моделью поведения.

Сначала были сгенерированы 200 значений интенсивности, соответствующие значениям случайной величины, распределенной по гамма-распределению с параметрами  $k = 1,2$ ,  $\theta = 0,3$ . С одной стороны, большая часть значений меньше 0,5, что соотносится со многими примерами реального поведения, с другой – в данных есть значения для всех интервалов, на которые разбито значение  $\lambda$  при дискретизации.

Далее для каждого значения интенсивности генерируется 30 «респондентов» — последовательностей точек, расстояния между которыми подчиняются экспоненциальному распределению с соответствующим значением интенсивности. Из каждой такой последовательности выделяются исходные данные для оценки: длины интервалов между тремя последними точками, минимальный и максимальный интервал за промежуток длиной 180 «дней», удаляются последовательности, у которых нет хотя бы двух точек за этот промежуток. Таким образом, конечный обучающий набор включает 5958 «респондентов», причем для каждого дополнительно известно исходное значение интенсивности, что позволяет сравнить его с итоговой оценкой. По этим данным производится первоначальное обучение модели (расчет тензоров условных вероятностей), то есть в параметрах модели никак не учитывается возможная неточность данных.

Аналогичным образом были сгенерированы тестовые данные для проверки модели на «зашумленных» данных (250 значений интенсивности, 25 последовательностей для каждого значения, всего 6137 «респондентов»). После генерации точные данные о длинах промежутков между эпизодами были заменены значениями с добавлением нормального шума.

Для проверки влияния предложенного метода на качество предсказания было проведено три эксперимента. Первый включал предсказание на «чистых» (без добавления шума) данных, второй — на неточных данных без коррекции, третий — на неточных данных, но с использованием рандомизации и вычисления апостериорного распределения с помощью весов. Для ускорения вычислений в данной работе во всех экспериментах рассматривается поступление только двух свидетельств — для  $t_1$  и  $t_{\max}$ . В случае учета всех исходных данных алгоритм не изменяется, но увеличивается число вариантов комбинации поступивших свидетельств.

Все вычисления и анализ выполнены с помощью языка R [RProject, 2017], в частности, для работы с байесовскими сетями использовался пакет bnlearn [Scutari, 2010] и gRain [Hojsgaard, 2012].

Для рассматриваемой в данной работе дискретизации переменных задача предсказания интенсивности поведения с помощью предложенной модели на основе байесовской сети доверия является задачей 8-классовой

классификации. В случае мультиклассовой классификации кроме показателя доли правильно предсказанных элементов (общей точности – ассигасу) для характеристики качества модели используются и усредненные по классам показатели [Sokolova et al., 2009]. Качество предсказания (таблица 1) после рандомизации исходных данных выше, чем при предсказании без коррекции (средняя точность 0,878 и 0,874 соответственно). В то же время, отметим, что на точных данных предсказание немного выше, то есть модель чувствительна к смещениям в исходных данных. Насколько критичным считать подобное уменьшение точности, зависит от конкретной практической задачи: если исследуется важный тип поведения, где ошибки очень дороги, то разница в 0,5–1% может быть существенной.

Таблица 1 – Метрики качества предсказания

Показатель	Исходные данные		
	без шума	без обработки	с коррекцией
Точность (ассигасу)	0,531	0,499	0,514
Средняя точность (average ассигасу)	0,883	0,874	0,878
Точность (macro precision)	0,466	0,431	0,449
Полнота (macro recall)	0,462	0,438	0,445

Таким образом, рандомизация ответов позволяет учитывать возможную неточность в поступающих исходных данных: качество предсказания повышается даже при рассмотрении всего двух переменных и без использования при рандомизации предположений о типе шума.

#### 4 Заключение

В работе рассмотрен подход к учету неточности в исходных данных в рамках моделирования рискованного поведения на основе байесовской сети доверия. Рандомизация ответов приводит к улучшению качества предсказания. Однако, расширение предложенного метода на более общие случаи, включение дополнительных исходных данных приведет к возрастанию вычислительной сложности и времени работы. Одним из потенциальных способов решения такой проблемы может быть расширение используемого аппарата возможностью использования виртуальных свидетельств, т.е. не точного значения, а распределения вероятностей возможных значений.

## Список литературы

- [Пашенко и др., 2009] Пашенко А.Е., Суворова А.В. Программный комплекс для экспертного оценивания интенсивности поведения респондента в условиях дефицита информации // Интегрированные модели, мягкие вычисления, вероятностные системы и комплексы программ в искусственном интеллекте. Научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов (Коломна, 26–27 мая 2009 г.). Научные доклады. В 2-х т. Т. 2. М.: Физматлит, 2009. С. 220–241.
- [Суворова и др., 2014] Суворова А.В., Тулупьев А.Л., Сироткин А.В. Байесовские сети доверия в задачах оценивания интенсивности рискованного поведения // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2014. № 2.
- [Суворова, 2013] Суворова А.В. Моделирование социально-значимого поведения по сверхмалой неполной совокупности наблюдений // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №9, т. 11.
- [Тулупьев и др., 2006] Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006.
- [Тулупьева и др., 2008] Тулупьева Т.В., Пашенко А.Е., Тулупьев А.Л., Красносельских Т.В., Казакова О.С. Модели ВИЧ-рискованного поведения в контексте психологической защиты и других адаптивных стилей. СПб.: Наука, 2008.
- [Hojsgaard, 2012] Hojsgaard S. Graphical Independence Networks with the gRain Package for R // Journal of Statistical Software. 2012. Vol. 46(10), pp. 1–26.
- [Jitwasinkul et al., 2016] Jitwasinkul B., Hadikusumo B.H., Memon A.Q. A Bayesian Belief Network model of organizational factors for improving safe work behaviors in Thai construction industry // Safety science. 2016. Vol. 82, pp. 264–273.
- [Mkrtchyan et al., 2015] Mkrtchyan L., Podofilini L., Dang V.N. Bayesian belief networks for human reliability analysis: A review of applications and gaps // Reliability Engineering & System Safety. 2015. Vol. 139, pp. 1–16.
- [Neapolitan, 2003] Neapolitan R.E. Learning Bayesian Networks. Pearson Prentice Hall. 2003
- [Pearl, 2000] Pearl J. Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [RProject, 2017] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- [Scutari, 2010] Scutari M. Learning Bayesian Networks with the bnlearn R Package // Journal of Statistical Software. 2010. Vol. 35(3), pp. 1–22.
- [Sokolova et al., 2009] Sokolova M., Lapalme G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks // Information Processing & Management. 2009. Vol. 45(4), pp. 427–437.
- [Suvorova et al., 2016] Suvorova A., Tulupyeva T. Bayesian Belief Networks in Risky Behavior Modelling // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”(IITI’16). Springer International Publishing, 2016. pp. 95–102.
- [Trucco et al, 2008] Trucco P., Cango E., Ruggeri F., Grande O. A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation // Engineering and System Safety. 2008. Vol. 93, pp. 845–856



# UNCERTAINTY IN ESTIMATING INDIVIDUAL RISKY BEHAVIOR PARAMETERS

Suvorova A.V. (*suvalv@gmail.com*)

Tulupyev A.L. (*alt@iias.spb.su*)

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of  
the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

The paper presents an approach for dealing with imprecise data in risky behavior modelling based on Bayesian belief network. We conducted computational experiments to compare behavior rate predictions according to both initial and corrected data. The data randomization presented better prediction quality compared to initial method.

**Keywords:** behavior modelling, imprecise evidence, Bayesian belief network, rate estimate, risky behavior, randomization.

## ГЛОБАЛЬНАЯ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ В АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЯХ: МАТРИЧНО-ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ<sup>1</sup>

Харитонов Н.А.<sup>1,2</sup> (*nikita.kharitonov95@yandex.ru*)

Золотин А.А.<sup>1,2</sup> (*andrey.zolotin@gmail.com*)

Тулупьев А.Л.<sup>1,2</sup> (*alexander.tulupyev@gmail.com*)

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и  
автоматизации Российской академии наук, Санкт-  
Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

В работе рассмотрены алгоритмы проверки и поддержания непротиворечивости в алгебраических байесовских сетях. Предложены формулировки, а также матрично-векторные формы записи условий глобальной, интернальной, экстернальной и локальной непротиворечивости АБС. Разработана структура классов, реализующая алгоритмы проверки непротиворечивости. Дано описание основных методов и свойств классов в программной реализации. Материал дополнен примерами работы программного продукта.

**Ключевые слова:** вероятностные графические модели, проверка непротиворечивости, машинное обучение, матрично-векторные выражения, глобальный вывод, алгебраические байесовские сети.

### 1 Введение

Сегодня существует множество моделей, позволяющих хранить и обрабатывать большие объемы данных. К таким моделям относятся мультиагентные системы, цепи маркова, а также байесовские сети доверия (БСД). Последние принадлежат классу вероятностных графических моделей (ВГМ), занимающих важно место в текущем

---

<sup>1</sup>Часть результатов, представленных в работе, получены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-09001-а).

развитии области машинного обучения и искусственного интеллекта и имеющих применение в широком спектре областей науки и производства [Ayele и др., 2016; Bertone и др., 2016; Borunda и др., 2016; Murphy и др., 2016; Tang и др., 2016]. К ВГМ также относятся и рассматриваемые в данной работе алгебраические байесовские сети (АБС). Отметим, что в данном контексте термин «графические» подразумевает использование графовых структур для представления данных, а отнюдь не необходимость визуализировать структуру данных. Несмотря на близкое родство АБС и БСД, несомненным преимуществом первой является предоставляемая возможность оперировать неточным (интервальными) оценками вероятностей. Такая неточность в данных может возникнуть по ряду причин, таких как разногласие экспертов в оценке вероятности некоторого события или же трудности точного перевода литературного описания вероятности события в строгие математические ограничения.

Таким образом, большие данные вкупе с присутствующей в них неопределенностью порождают проблему нехватки ресурсов, возникающую при их обработке. Алгебраические байесовские сети предоставляют аппарат для решения данной проблемы – АБС декомпозирует базу данных на небольшие, тесно связанные между собой, наборы, называемые в теории фрагментами знаний. Такая декомпозиция дает возможность абстрагироваться от внутреннего строения фрагментов знаний при работе над глобальными структурными вопросами, но и порождает задачу иного рода – поддержание консистентности и целостности АБС. Ранее были получены строгие математические формулировки различных типов непротиворечивости оценок вероятностей АБС и дана функциональная формулировка каждой из степеней [Тулупьев и др., 2006]. С развитием программного комплекса и матрично-векторного аппарата логико-вероятностного вывода оказалось, что представление уравнений и задач линейного программирования через компоненты матриц и векторов дает более прозрачную картину исследуемой области и, более того, упрощает программную реализацию за счет использования таких библиотек как Math.NET [MathNET]. Целью данной работы является вывод матрично-векторной формы записи уравнений, описывающих различные степени непротиворечивости АБС, а также обзор программной реализации указанных алгоритмов и структуры классов.

## **2 Виды непротиворечивости алгебраических байесовских сетей**

Глобальная структура АБС подразумевает связанность ФЗ между собой, где в качестве связующего звена выступают сепараторы – ФЗ, построенные над множеством конъюнктов, принадлежащим двум

соединенным ФЗ. Работая с оценками вероятностей истинности элементов одного ФЗ нельзя гарантировать изолированность изменений оценок, так как любые изменения в оценках элементов, принадлежащих сепаратору немедленно применяются и ко второму ФЗ, соединяемому с данным указанным сепаратором. АБС с противоречащими друг другу оценками является непригодной к использованию, поэтому необходимо с большой аккуратностью проводить проверку непротиворечивости после каждого изменения, которое может повлечь нарушение непротиворечивости (пропагация свидетельства, изменение оценок ФЗ). Профессор В.И. Городецкий указал несколько степеней непротиворечивости, каждая из которых дополняет множество условий предыдущей. Рассмотрим каждую из степеней, дадим описание и сформулируем уравнения, решение которых даст АБС с непротиворечивыми оценками вероятностей.

Пусть дана АБС с носителем  $N = \bigcup_{i=1}^n C_i$ , состоящая из ФЗ, построенных над идеалами конъюнктов с скалярными оценками вероятностей истинности элементов  $N^0 = \{C\}_{i=1}^n = \{\langle C_i, \mathbf{P}_c^i \rangle\}_{i=1}^n$ .  $C_i$  это -й идеал конъюнктов, а  $\mathbf{P}_c^i$  – соответствующий вектор оценок вероятностей истинности его элементов. Ниже мы будем использовать определения, введенные ранее работах [Тулупьев и др., 2006; Тулупьев и др., 2009].

## 2.1 Локальная непротиворечивость

**Определение.** АБС является локально непротиворечивой, если каждый отдельно взятый ФЗ в сети непротиворечив.

Сформулируем данное утверждение на матрично-векторном языке. Условие непротиворечивости для одного фрагмента знаний записывается следующим образом:  $\mathbf{P}_c \mathbf{I}_n \geq 0$ . Тогда для множества фрагментов знаний, составляющих АБС условие локальной непротиворечивости запишется как

$$\text{Loc}\mathbb{I}(N^0) \equiv \forall \langle C_i, \mathbf{P}_c^i \rangle \in N^0 \mathbf{P}_c^i \mathbf{I}_n \geq 0$$

Локальная непротиворечивость накладывает самые "слабые" условия на оценки вероятностей и тем самым является самой легкодостижимой, но при этом обеспечивает наименьшую степень согласованности данных в базе знаний. Данный тип непротиворечивости необходимо проверять только в том случае, когда элементы фрагментов знаний в базе данных содержатся таким образом, что конъюнкты, принадлежащие двум различным ФЗ хранятся по-отдельности.

## 2.2 Экстернальная непротиворечивость

Следующим рассматриваемым видом непротиворечивости является экстернальная непротиворечивость. Определение экстернально непротиворечивой АБС расширяет локальную непротиворечивость накладывая условия равенства оценок вероятностей конъюнктов, принадлежащих двум ФЗ.

**Определение.** АБС является экстерналино непротиворечивой, если она локально непротиворечива и оценки истинности конъюнкта, входящего в два и более ФЗ совпадают:

$$\text{Ext}\overline{\text{rn}}\overline{\text{I}}(N^0) = \text{Loc}\overline{\text{I}}(N^0) \& \\ \forall C_i, C_j \in N^0 \forall \mathbf{P}_c^i[k], \mathbf{P}_c^j[m] \in C_i \cap C_j \mathbf{P}_c^i[k] = \mathbf{P}_c^j[m].$$

В случае интервальных оценок вероятностей в ФЗ равенство оценок вероятностей подразумевает равенство нижней и верхней границ интервалов оценок. Данный вид непротиворечивости автоматически поддерживается в программных комплексах, где оценки совпадающих конъюнктов хранятся в единственном экземпляре, а ФЗ лишь ссылаются на список собственных конъюнктов.

### 2.3 Интернальная непротиворечивость

**Определение.** АБС является интернально непротиворечивой, если она локально непротиворечива и для любого конъюнкта для любого скалярного значения из интервала оценки его истинности можно выбрать такие оценки во всех ФЗ, что получившаяся АБС будет экстерналино непротиворечивой.

$$\text{Int}\overline{\text{rn}}\overline{\text{I}}(N^0) = \text{Loc}\overline{\text{I}}(N^0) \& \\ \forall c_i \in N \forall \mathbf{P}_{c_i} \in [\mathbf{P}_{c_i}^-, \mathbf{P}_{c_i}^+] \text{Ext}\overline{\text{rn}}\overline{\text{I}}(N^0 | \mathbf{P}_{c_i})$$

### 2.4 Глобальная непротиворечивость

**Определение.** АБС является глобально непротиворечивой, если ее с имеющимися оценками можно погрузить в непротиворечивый объемлющий фрагмент знаний  $C$  и при этом оценки вероятностей  $\mathbf{P}_c^i$  не изменятся.

$$\text{Glob}\overline{\text{I}}(N^0) \equiv \exists \langle C, \mathbf{P}_c \rangle: \mathbf{P}_c \mathbf{I}_n \geq 0 \& \forall f \in N \mathbf{P}_{cf} = \mathbf{P}_{Nf}$$

Теперь, ознакомившись с определениями всех четырех типов непротиворечивости рассмотрим структуру программного комплекса, реализующего алгоритмы проверки и поддержания описанных видов непротиворечивости в АБС.

## 3 Программная реализация

Реализация алгоритмов непротиворечивости происходила в рамках модернизации математической библиотеки объемлющего проекта по работе с АБС, подробнее описанном в работах [Levenets и др., 2016; Мальчевская и др., 2016]. На момент постановки задачи инструментарий программного комплекса поддерживал обработку ФЗ.

### 3.1 Диаграмма классов

Для реализации алгоритмов поддержки непротиворечивости была разработана система классов, описывающих АБС, структура которых изображена на рисунке 1.

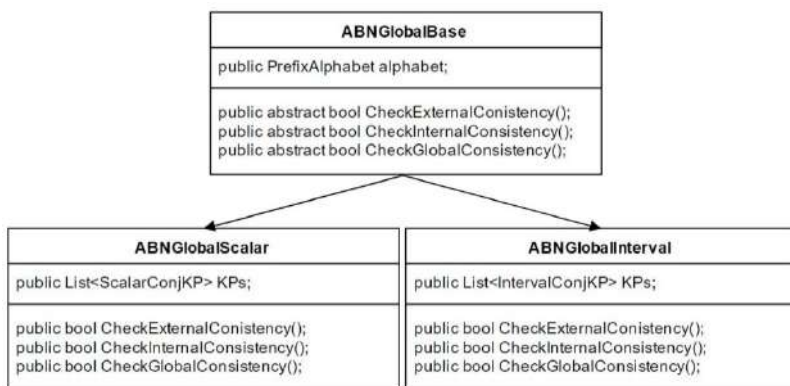


Рисунок 1 – Диаграмма классов.

Класс ABNGlobalBase является абстракцией, от которой наследуются реализации АБС со скалярными и интервальными оценками. В нём же описаны основные методы поддержки непротиворечивости, которые будут реализованы в наследниках. Поскольку АБС обоих типов строятся над идентичными видами алфавита, то алфавит также объявлен в ABNGlobalBase. В то же время списки фрагментов знаний не описаны в базовом классе. Это объясняется тем, что для создания этих списков используются различные по своей сути структуры: IntervalConjKP и ScalarConjKP, для которых нет возможности создать единого ``родителя".

Класс ABNGlobalScalar является представлением АБС со скалярными оценками и содержит реализацию алгоритма поддержки непротиворечивости. В АБС данного типа из экстеральной следуют интернальная и глобальная непротиворечивости, поэтому необходимости в разработке всех трёх методов нет. При вызове проверки любого типа происходит обращение к внутренней процедуре CheckConsistency, которая фактически реализует поддержку экстеральной непротиворечивости. Все три метода объявлены для того, чтобы АБС имели аналогичные структуры.

Для реализации непротиворечивости в АБС с интервальными оценками создан класс ABNGlobalInterval. На данный момент АБС считается ациклической, то есть из интернальной непротиворечивости следует глобальная, вследствие чего алгоритм поддержки последней не имеет должной реализации. Как временный вариант, до перехода проекта к обработке циклических АБС, метод CheckGlobalConsistency возвращает результат работы метода CheckIntervalConsistency.

Конструкторы АБС как со скалярными, так и с интервальными оценками, получают на вход алфавит, над которым будет построена сеть, и список ФЗ.

В обоих классах также реализованы внутренние методы, упрощающие проверку непротиворечивости. В некоторых случаях они совпадают для обоих типов АБС, поэтому содержатся и в ABNGlobalBase. Среди них такие методы, как:

`protected List<int> GetLocalByGlobal(long knowlegePatternGlobalIndex, int localIndex)` – метод, позволяющий узнать глобальный индекс символа алфавита из ФЗ. Возвращает указанный индекс в виде списка \$0\$ и \$1\$.

`protected string getElementNameByIndex(long knowlegePatternGlobalIndex, int localIndex)` – благодаря этому методу можно узнать имя конъюнкта из ФЗ, в том числе, если он содержит несколько символов алфавита. Необходимость данного метода заключается в том, что ФЗ не позволяет получить доступ к последнему. При этом имена переменных активно используются в различных видах поддержания непротиворечивости.

Иные вспомогательные методы позволяют получать пересечение двух ФЗ (сепаратор), обновлять оценки вероятностей конъюнктов и выполнять другие элементарные алгоритмы.

### **3.2 Пример работы**

Для проверки корректной работы модуля проверки непротиворечивости был разработан обширный спектр тестов, начиная от анализа простейших вспомогательных методов до проверки интернальной непротиворечивости в АБС с интервальными оценками. В работе приведены два примера работы алгоритмов поддержания непротиворечивости интервальной АБС, однако тесты для проверки непротиворечивости в АБС со скалярными оценками в данной статье не рассматриваются, что объясняется простотой проверки: методы поддержания непротиворечивости в них выдают только результат `true` или `false` и не возвращают уточненные оценки вероятностей элементов АБС, в отличие от интервальной. Примеры будут оформлены не в виде кода, но в более удобном для восприятия читателем стиле.

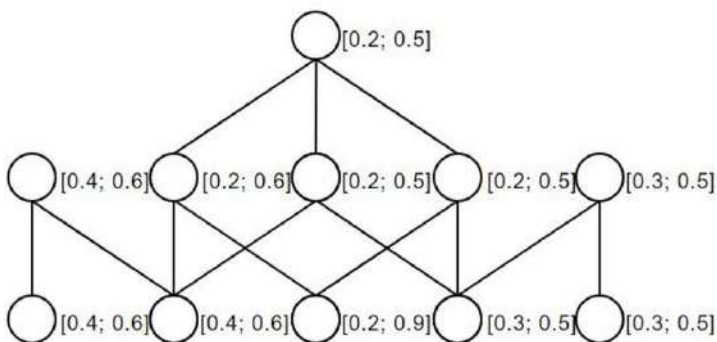


Рисунок 2 – Результат проверки экстеральной непротиворечивости

Для рассмотрения примера поддержания экстеральной непротиворечивости была взята АБС, состоящая из трех ФЗ: первый построен над атомами  $x_1, x_2$ , второй – над  $x_2, x_3, x_4$ , третий – над  $x_4, x_5$ . В первом ФЗ все конъюнкты имеют оценки  $[0.4; 0.6]$ , во втором –  $[0.2; 0.9]$ , в третьем –  $[0.3; 0.5]$ . В результате поддержки экстеральной непротиворечивости оценки в АБС некоторые изменились. Поскольку метод возвращает только bool значение, показывающее, непротиворечива ли АБС, и не даёт информации об изменении оценок, была произведена пошаговая отладка теста. Она позволила определить, как именно изменились оценки. Результат работы изображён на рисунке 2 и соответствует ожидаемому результату, полученному на основании теоретических выкладок.

Для проверки интернальной непротиворечивости использовалась АБС, представленная на рисунке 3. Данный пример интересен тем фактом, что в результате выполнения алгоритма должны измениться оценки в элементе  $[0.5; 0.7]$  на  $[0.5; 0.6]$ . Как и в первом примере, была произведена пошаговая отладка, в результате которой было обнаружено, что оценки действительно меняются и в итоге получается АБС, изображённая на диаграмме 3.

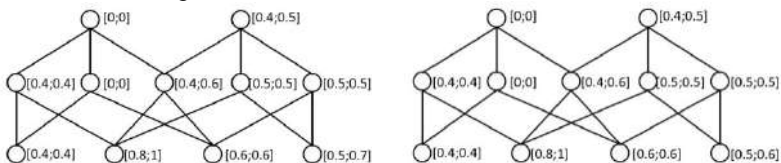


Рисунок 3 – Экстеральная непротиворечивость: до и после проверки

## 4 Заключение

Матрично-векторная форма записи условий непротиворечивости АБС, изложенная в работе развивает матрично-векторный аппарат,



предложенный ранее лишь для фрагментов знаний. Благодаря использованию алгебраических операций достигается большая простота формулировки, что в дальнейшем упрощает программную реализацию за счет использования структур-массивов и списков. Программная реализация, представленная в работе, реализует глобальный, интернальный и экстернальные виды непротиворечивости, тем самым дополняя программный комплекс на языке C# и открывая возможности для реализации глобального логико-вероятностного вывода. Данная работа развивает глобальный вывод в алгебраических сетях в частности и теорию вероятностных графических моделей в целом.

### Список литературы

- [Ayele и др., 2016] Ayele Y.Z., Barabady J., Droguett E.L. Dynamic bayesian network-based riskassessment for arctic offshore drilling waste handling practices // Journal of OffshoreMechanics and Arctic Engineering-transactions of the ASME. 2016. 138(5).
- [Bertone и др., 2016] Bertone E., Sahin O., Richards R., Roiko A. Extreme events, water quality andhealth: A participa-tory bayesian risk assessment tool for managers of reservoirs //Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 135. P. 657–667.
- [Borunda и др., 2016] Borunda M., Jaramillo O.A., Reyes A., Ibarguengoytia P.H. Bayesian networks in renewable energy systems: A bibliographical survey // Renewable & SustainableEnergy Reviews. 2016. Vol. 62. P. 32–45.
- [Levenets и др., 2016] Levenets D.G., Zotov M.A., Romanov A.V., Tulupyyev A.L., Zolotin A.A., Filchenkov A.A.: Decremental and incremental reshaping of algebraic Bayesian networks global structures //. Proceedings of the First International Scientific Con-ference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’16). 2016. P. 57–67.
- [MathNET] MathNET: Math.net numerics, <https://numerics.mathdotnet.com/>, дата обращения 10.09.2017
- [Murphy и др., 2016] Murphy F., Sheehan B., Mullins M., Bouwmeester H., Marvin H.J., Bouzembrak Y., Costa A.L., Das R., Stone V., Tofail S.A. A tractable method formeasuring nanomaterial risk using bayesian networks // Nanoscale research letters. 2016. P. 181–187.
- [Мальчевская и др., 2016] Мальчевская Е. А., Золотин А. А. Логико-вероятностный вывод в АБС: архитектура и примеры использования программного комплекса на языке C# // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. 2016. С. 181-187.
- [Tang и др., 2016] Tang C.H., Yi Y.J., Yang Z.F., Sun J. Risk forecasting of pollution accidents based on an integrated Bayesian network and water quality model for the south to north water transfer project // Ecological Engineering. 2016. Vol. 96. P. 109–116.
- [Тулупьев и др., 2006] Тулупьев А. Л., Николенко С. И., Сироткин А. В. Байесовские сети: Логико-вероятностный подход СПб.: Наука, 2006. 607 с.

[Тулупьев и др., 2009] Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. СПб.: Из-во С.-Петерб. ун-та, 2009. 400 с.

## GLOBAL CONSISTENCY IN ALGEBRAIC BAYESIAN NETWORKS: MATRIX-VECTOR REPRESENTATION OF RECONCILIATION REQUIREMENTS

Kharitonov N.A.<sup>1,2</sup> (*nikita.kharitonov95@yandex.ru*)

Zolotin A.A.<sup>1,2</sup> (*andrey.zolotin@gmail.com*)

Tulupyev A.L.<sup>1,2</sup> (*alexander.tulupyev@gmail.com*)

<sup>1</sup>St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Science, St. Petersburg

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg

Algebraic Bayesian network reconciliation check and maintenance algorithms are considered in the paper. Verbal statements and a matrix-vector representation of global, internal, external and local consistency requirements are proposed. A class hierarchy that implements the consistency check and maintenance is described. A methods and properties description of those classes is given and short documentation is provided. The paper is supplemented with work code examples.

**Keywords:** probabilistic graphical model, consistency check, machine learning, matrix-vector equations, global inference, algebraic Bayesian network.

# АРХИТЕКТУРА ПО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА АНОМАЛЬНЫХ ШАБЛОНОВ ПРОЕКТНЫХ МЕТРИК В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

Заварзин Д.В. (*dzavarzin91@gmail.com*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

Данная работа посвящена описанию специализированного программного обеспечения (ПО) для анализа метрик, влияющих на риски проектирования в процессе функционирования предназначенной для этого сложной организационно-технической системы (ОТС). В статье приводится краткое описание структуры ПО, графического интерфейса пользователя, а также примера работы одного из алгоритмов ПО. В конце статьи указываются планы по дальнейшему развитию программного комплекса.

**Ключевые слова:** организационно-техническая система, поиск аномалий, временной ряд, нечёткая тенденция, нечёткая логика, анализ временных рядов.

## 1 Введение

ОТС – это искусственная организационно-техническая совокупность взаимосвязанных компонентов, предназначенных для производства товарной продукции, предоставления услуг или иной деятельности, осуществляемой человеком.

Одна из важнейших проблем анализа поведения ОТС является проблема поиска и обнаружения её аномальных событий (паттернов) поведения [Соловьев, 2014]. В процессе проектирования конечного продукта с использованием сложной ОТС возникает необходимость контроля за качеством исполнения на всех этапах проектных работ. Повышению качества проекта обычно сопутствует снижение его рисков и наоборот. Риски в свою очередь характеризуются разнообразными метриками, зависящими от объекта анализа [Таганов, 2012].

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-732112).

Объекты анализа — это компоненты, из которых состоит ОТС проектирования, характеристики которых можно измерить и представить в виде темпоральной (временной) последовательности, как правило, числовых данных - временных рядов (ВР). Таким образом, ВР как математическое представление результатов поведения объекта ОТС может быть проанализирована на предмет наличия в нём аномальных состояний или даже последовательностей аномальных состояний (шаблонов) поведения. Полученная информация в дальнейшем может быть использована для управления рисками проектных работ и повышения качества проекта и его конечной реализации.

Область анализа временных рядов, связанная с поиском и обнаружением аномалий быстро развивается, однако это же время возможности и перспективы анализа ВР с точки зрения нечёткого представления недостаточно хорошо изучены. В данной работе предлагается архитектура исследовательского ПО, предназначенного для решения задачи исследования и поиска аномалий на ВР путём анализа их нечётких тенденций, как следствие анализа поведения объектов ОТС.

Во второй главе будет представлено обоснование для разработки программного комплекса. В третьей главе будет представлено описание структуры ПО для поиска аномальных шаблонов на ВР при помощи методов сглаживания ВР и кластеризации. В четвёртой главе будет приведено описание программной системы с иллюстрациями.

## **2 Обоснование разработки программного комплекса**

Путём анализа открытых источников по проблеме поиска аномалий в объектах ОТС, а также процессах представленных ВР было установлено практическое отсутствие цельной программной системы для анализа аномальных состояний процессов объекта ОТС.

Кроме того в существующих экземплярах программных систем исследовательского характера (а частности для анализа проблемы поиска аномалий на ВР) отсутствуют необходимые инструменты для генерации аномалий различных типов. Примеры классификации аномальных состояний объекта ОТС описаны в трудах [Cheboli, 2010][Chandola, 2009].

Целью разработки ПО описываемого в данной статье является объединение функциональности инструмента для поиска аномалий ВР при помощи методов и алгоритмов теории нечётких ВР и нечётких тенденций, а также инструментария для генерации аномальных состояний различных типов. Главное требование к разрабатываемому ПО является возможность изучения поведения ВР и помощь в решении проблемы поиска аномалий на ВР, порождённых в исследуемых процессах объектов ОТС.

### 3 Структура программного комплекса

Программный комплекс состоит из следующих компонентов и функциональных модулей (рис. 1):

1. Модуль генерации тестовых ВР по заданной математической функции.
2. Модуль инъекций аномалий различных типов.
3. Модуль сохранения/загрузки пользовательских ВР по общей спецификации CIF-2015/2016.
4. Модуль поиска аномалий путём сглаживания ВР и метода кластеризации.
5. Модуль поиска аномалий на основе анализа его нечётких элементарных тенденций по частотному принципу и степени аномальности.
6. Модуль визуализации полученных результатов.
7. Модуль логирования ошибок и действий пользователя.



Рисунок 1 – Схема программного обеспечения генерации и поиска аномалий AIS.Anomaly

## 4 Описание интерфейса программного комплекса

В данном разделе будет приведено описание графического интерфейса пользователя ПО на примере функционирования режимов инъекции аномалий в исходный ВР и режима поиска аномалий при помощи метода сглаживания ВР и кластеризации.

Рабочая область меню генерации аномалий на ВР представлена на рисунке 2.

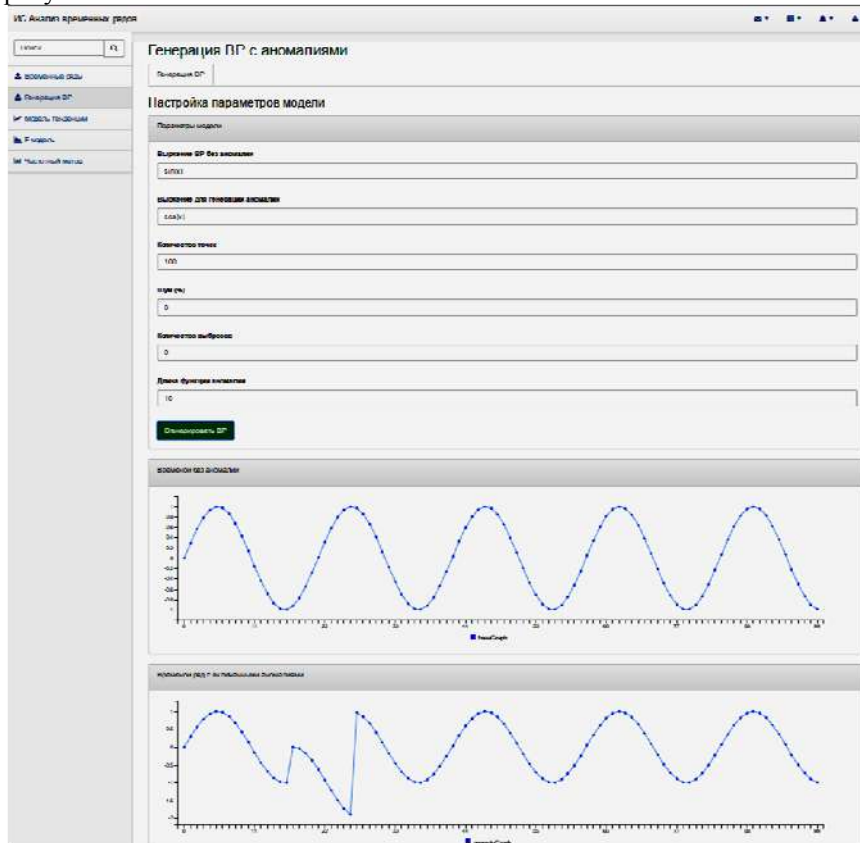


Рисунок 2 – Интерфейс подсистемы генерации ВР и инъекции аномалий

Подсистема генерации и инъекции аномалий по следующим исходным данным: формула исходного ВР; формула сегмента аномалии; количество точек исходного ВР; шум (в процентах); количество одиночных аномалий - выбросов; длина аномального сегмента.

Следующий рисунок 3 иллюстрирует интерфейс подсистемы поиска аномалий при помощи метода F-преобразования Перфильевой [Романов, 2011] и кластеризации методом k-means. Для работы этого метода требуется настроить ACL-шкалу [Афанасьева, 2008], а затем задать порядок ВР и применить метод на исходном ВР. При этом центры кластеров будут подобраны автоматически по принципу максимального расстояния между центрами найденных кластеров.



Рисунок 3 – Интерфейс подсистемы поиска аномалий при помощи методик F-преобразования и кластеризации

## 6 Заключение

В данной работе описана архитектура ПО для поиска и обнаружения аномальных шаблонов в объектах ОТС, метрики которых представлены в виде ВР и нечётких тенденциях ВР.

По результатам разработки данного программного комплекса планируется достичь следующих целей:

1. Объединить математические возможности теории нечётких ВР и нечётких тенденций для анализа ВР метрик объектов ОТС.
2. Изучить и интерпретировать алгоритмы порождения аномальных состояний.
3. Создать удобные каналы обмена информацией между объектами ОТС и ПО для анализа поведения ОТС.
4. Выполнить ряд исследовательских задач по изучению аномального поведения и состояний объектов ОТС.

### Список литературы

- [Афанасьева 2008] Афанасьева Т.В. Модель ACL-шкалы для генерации лингвистических оценок в принятии решений // Университет им. В.И. Вернадского. – №4(14). – 2008. – Том 2. – с.91-96.
- [Романов 2011] Романов А. А., Применение метода F-преобразования для прогноза тренда и числового представления временного ряда // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – № 4-4. – т. 13. – 2011. – с. 1103-1109.
- [Соловьев 2014] Соловьев И.В. Общие принципы проектирования сложных организационно-технических систем // Перспективы науки и образования, 2014. – №2(8). – с. 21-27.
- [Таганов 2012] Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 224 с.
- [Cheboli 2010] Cheboli, D. Anomaly detection of time series: дис. / D. Cheboli – University of Minnesota, 2010.
- [Chandola 2009] Chandola V. Anomaly detection for symbolic sequences and time series data: дис. / Varun Chandola – University of Minnesota, 2009.



# SOFTWARE ARCHITECTURE FOR AUTOMATE SEARCH OF ANOMALY PATTERNS IN DESIGN METRICS OF ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

*Zavarzin D.V. (dzavarzin91@gmail.com)*

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

This work is devoted to the description of specialized software for the analysis of metrics that affect design risks in the process of functioning of a complex organizational and technical system (OTS). The article provides a brief description of the software architecture, the description of graphical user interface, and an example of how one of the software algorithms works. At the end of the article, the plans for further development of the software complex are indicated.

**Keywords:** organizational and technical system, anomaly detection, time series, fuzzy trend, fuzzy logic, time series analysis.

СЕКЦИЯ 3  
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И  
УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ

УДК 519.812:510.22

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
НЕТОЧНО ВЫРАЖЕННЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ НА  
ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ  
ПОЛЕЗНОСТИ**

Шакиров В.А. (*myNovember@mail.ru*)  
Братский государственный университет, Братск

В работе описывается методика принятия решений на основе многокритериальной теории полезности в условиях неточно выраженных предпочтений лица, принимающего решения, в отношении ценности оценок по критериям и важности критериев.

**Ключевые слова:** теория полезности, принятие решений, нечеткое число, интервал.

## 1 Введение

Методы многокритериальной теории полезности MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), MAVT (Multi-Attribute Value Theory) служили основой поддержки принятия решений во многих исследованиях в области энергетики, медицины, транспортной безопасности, развития городской инфраструктуры [Кини и др., 1981; Кини, 1983], анализа чрезвычайных ситуаций [Kailiponi, 2010], охраны окружающей среды [Huang et. al., 2011].

Для принятия решений в условиях неполной и неточной информации методы MAVT, MAUT были расширены до нечетких версий. Можно выделить два подхода. В первом подходе была обеспечена возможность использования нечетких весов критериев и нечеткой ценности критериальных оценок в рамках метода FMAVT. При этом использовались

обычные однокритериальные функции ценности [Яцало и др., 2011; Yatsalo et. al., 2015]. Впоследствии была обеспечена возможность использования нечетких однокритериальных функций ценности в рамках метода FFMAVT [Шакиров, 2012]. В рамках второго подхода развитие получил метод MAUT путем использования лингвистических переменных и лингвистических лотерей [Борисов и др., 1989].

Статья продолжает развитие методов MAUT и MAVT в рамках первого подхода – предлагаются процедуры построения нечетких однокритериальных функций полезности и ценности, а также подход к определению шкалирующих коэффициентов.

## **2 Применение методов MAUT, MAVT в условиях неопределенности предпочтений ЛПР**

На рисунке 1 представлены основные этапы методов MAUT, MAVT.



Рисунок 1 – Этапы методов MAUT, MAVT

На первом этапе при взаимодействии с лицом, принимающим решения (ЛПР), формируется основная и составные цели, преследуемые при решении проблемы. Формируются критерии, которые служат для оценки степени достижения целей при сравнении альтернатив.

На втором этапе формируется набор альтернатив, проводится сбор информации для их оценки по критериям. В связи с ограниченными финансовыми, трудовыми и временными ресурсами получение точной информации, как правило, затруднительно. Для принятия решений в таких условиях, называемых условиями риска, используют метод MAUT. В случае, если оценки по критериям могут быть оценены точно, следует использовать метод MAVT.

На третьем этапе проводится проверка условий, необходимых для возможности применения методов MAUT, MAVT [Кини и др., 1981]. При выполнении условий взаимной независимости критериев по полезности может быть получена многокритериальная функция полезности в аддитивном (1) или мультипликативном виде (2) [Кини и др., 1981]:

$$u(y) = u(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(y_i), \quad (1)$$

$$ku(y) = ku(y_1, y_2, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n (k k_i u_i(y_i) + 1), \quad (2)$$

где  $u_i(y_i)$  – однокритериальная функция полезности;  $y_i$  – исход альтернативы по критерию  $i$ ;  $k, k_i$  – шкалирующие коэффициенты.

Если рассматривается выбор в условиях определенности, функцию полезности  $u(y)$  называют функцией ценности  $v(y)$ . Выполнение условия взаимной независимости критериев по предпочтению позволяет получить функцию ценности в аддитивном виде [Кини и др., 1981]:

$$v(y) = v(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(y_i), \quad (3)$$

где  $v_i(y_i)$  – однокритериальная функция ценности;  $y_i$  – оценка альтернативы по  $i$ -му критерию.

На четвертом этапе проводится построение однокритериальных функций полезности или ценности.

Построение однокритериальной функции ценности ведется по нескольким опорным точкам (рис. 2а). Вначале проводится нормализация – лучшей оценке  $y_i^1$  по критерию  $X_i$  присваивается ценность  $v_i(y_i^1) = 1$ , худшему значению  $y_i^0$  присваивается ценность  $v_i(y_i^0) = 0$ . Далее следует привлечь другой критерий  $X_j$  для поиска точки, субъективно средней по ценности в интервале от  $y_i^0$  до  $y_i^1$ . Эта оценка  $y_i^a$  будет иметь ценность  $v_i(y_i^a) = 0,5$ . Аналогично определяются точки с ценностью 0,25 и 0,75. Пяти точек, как правило, достаточно для построения функции ценности.

Построение однокритериальной функции полезности также осуществляется по нескольким опорным точкам (рис. 2б). После нормализации для определения промежуточных значений функции необходимо предложить ЛПР лотереи. Например, ЛПР необходимо задать детерминированный эквивалент  $\hat{y}_i^a$ , который оно считает равноценным лотерее с двумя исходами  $y_i^0$  и  $y_i^1$ , вероятность которых  $p_1=50\%, p_2=50\%$ . Полезность детерминированного эквивалента равна 0,5. Аналогично определяются точки с полезностью 0,25 и 0,75. Пяти точек, как правило, достаточно для построения функции полезности.

Рассмотрим процедуру построения нечеткой однокритериальной функции ценности (НОФЦ). Необходимость ее построения возникает в связи с неопределенностью, имеющейся у ЛПР в отношении ценности критериальных оценок. Неопределенность может возникать в связи с несколькими сценариями развития решаемой проблемы, наличием нескольких мнений при групповом принятии решений.

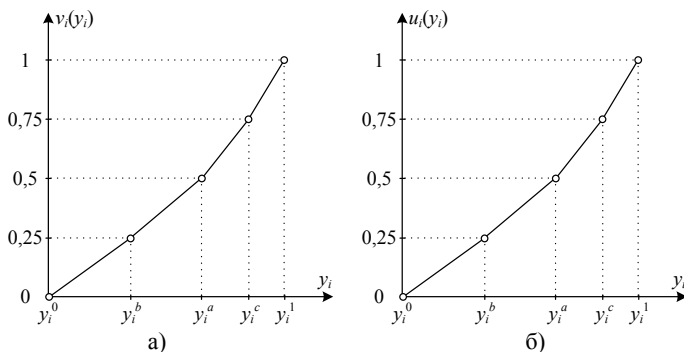


Рисунок 2 – Однокритериальные функции а) ценности б) полезности

Примем следующие обозначения оценок по критериям  $u$  и ценности оценок по критериям  $v$ . Верхний индекс W соответствует большей, а B – меньшей оценке, если ЛПР стремится получить меньшие оценки по критерию. И наоборот, верхний индекс W соответствует меньшей, а B – большей оценке, если ЛПР стремится получить большие оценки по критерию (worst – худшая, best – лучшая оценки). Верхний индекс R – означает правую границу ценности (большее значение). Верхний индекс L – означает левую границу ценности (меньшее значение). Верхний индекс C (core) соответствует ядру нечеткой оценки.

Построение НОФЦ ведется по пяти опорным точкам. После нормализации, на интервале от  $[y_i^0, y_i^1]$  определяется средняя по ценности точка  $y_i^{0,5C}$ , а также возможные граничные значения  $y_i^{0,5W}$ ,  $y_i^{0,5B}$  (рис. 3). ЛПР считает, что изменение оценки по критерию с  $y_i^0$  до  $y_i^{0,5C}$  равноценно изменению с  $y_i^{0,5C}$  до  $y_i^1$ , но допускает возможное изменение точки равной ценности от  $y_i^{0,5W}$  до  $y_i^{0,5B}$ .

Таким образом, от ЛПР будет получена нечеткая треугольная оценка с функцией принадлежности  $f(y_i^{0,5W}, y_i^{0,5C}, y_i^{0,5B})$ . Оценки  $y_i^{0,5W}$ ,  $y_i^{0,5C}$ ,  $y_i^{0,5B}$  имеют одинаковую ценность для ЛПР, равную 0,5, но с разной степенью принадлежности. Оценка  $y_i^{0,5C}$  имеет ценность 0,5 со степенью принадлежности  $\mu=1$ ,  $y_i^{0,5W}$ ,  $y_i^{0,5B}$  имеют ценность 0,5 с  $\mu=0$ , поскольку являются граничными для ЛПР значениями. Указанные оценки отмечены на рис. 3 соответственно  $v_i^C(y_i^{0,5C})$ ,  $v_i^R(y_i^{0,5W})$ ,  $v_i^L(y_i^{0,5B})$ . Аналогичным образом устанавливаются средние по ценности точки на интервалах  $[y_i^0, y_i^{0,5W}]$ ;  $[y_i^0, y_i^{0,5C}]$ ;  $[y_i^0, y_i^{0,5B}]$  для определения соответственно  $y_i^{0,25W}$ ,  $y_i^{0,25C}$ ,  $y_i^{0,25B}$ , а также – на интервалах  $[y_i^{0,5W}, y_i^1]$ ;  $[y_i^{0,5C}, y_i^1]$ ;  $[y_i^{0,5B}, y_i^1]$  для

определения соответственно  $y_i^{0,75W}$ ,  $y_i^{0,75C}$ ,  $y_i^{0,75B}$ . На рисунке 4 представлен пример НОФЦ.

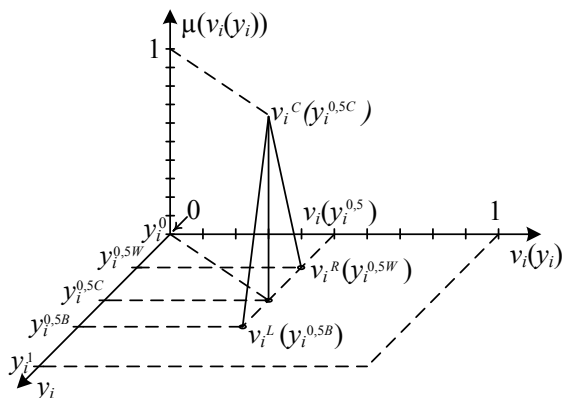


Рисунок 3 – Этап определения средней по ценности точки  $y_i^{0,5C}$ , а также возможных граничных значений  $y_i^{0,5W}$ ,  $y_i^{0,5B}$

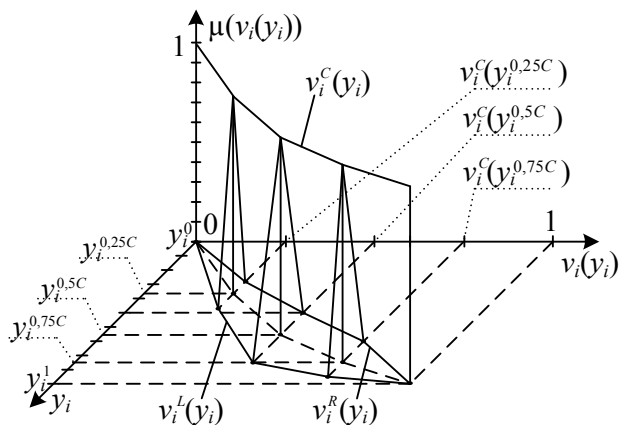


Рисунок 4 – НОФЦ, образованная треугольными функциями принадлежности

Для нахождения нечетких оценок ценности по построенным функциям были предложены процедуры определения образов при нечетком отображении точных и нечетких оценок по критериям [Шакиров, 2012].

Рассмотрим построение нечеткой однокритериальной функции полезности (НОВЦ). После нормализации, для определения промежуточных значений НОВЦ ЛПР может задать детерминированный

эквивалент нечеткой оценкой  $f(\hat{y}_i^{0,5W}, \hat{y}_i^{0,5C}, \hat{y}_i^{0,5B})$ . Полезность исходов  $\hat{y}_i^{0,5W}, \hat{y}_i^{0,5C}, \hat{y}_i^{0,5B}$  равна 0,5 со степенью принадлежности  $\mu=0, \mu=1, \mu=0$  соответственно.

Детерминированные эквиваленты  $\hat{y}_i^{0,25W}, \hat{y}_i^{0,25C}, \hat{y}_i^{0,25B}$  для соответствующих лотерей с исходами  $y_i^0, y_i^{0,5W}; y_i^0, y_i^{0,5C}; y_i^0, y_i^{0,5B}$  позволяют установить точки с полезностью 0,25. Детерминированные эквиваленты  $\hat{y}_i^{0,75W}, \hat{y}_i^{0,75C}, \hat{y}_i^{0,75B}$  для соответствующих лотерей с исходам  $y_i^{0,5W}$  и  $y_i^1; y_i^{0,5C}$  и  $y_i^1; y_i^{0,5B}$  и  $y_i^1$  позволяют установить точки с полезностью 0,75.

Через точки  $(y_i^0, 0), (\hat{y}_i^{0,25W}, 0,25), (\hat{y}_i^{0,5W}, 0,5), (\hat{y}_i^{0,75W}, 0,75), (y_i^1, 1); (y_i^0, 0), (\hat{y}_i^{0,25C}, 0,25), (\hat{y}_i^{0,5C}, 0,5), (\hat{y}_i^{0,75C}, 0,75), (y_i^1, 1)$  и  $(y_i^0, 0), (\hat{y}_i^{0,25B}, 0,25), (\hat{y}_i^{0,5B}, 0,5), (\hat{y}_i^{0,75B}, 0,75), (y_i^1, 1)$  могут быть построены функции  $u_i^R(y_i), u_i^C(y_i), u_i^L(y_i)$  соответственно. Эти функции позволяют определить полезность критериальной оценки с достоверностью  $\mu=0, \mu=1, \mu=0$  соответственно. Графическое представление процедуры построения нечеткой функций полезности аналогично НОФЦ (рис. 4).

Рассмотрим процедуры определения полезности исходов. В общем случае, сформулированные ЛПР критерии могут иметь оценки в виде субъективных оценок и в виде оценок, полученных с помощью различных моделей измерения. Если оценки альтернатив по критериям не характеризуются вероятностями исходов, а выражаются точными, интервальными или нечеткими оценками, то определение полезности проводится, соответственно:

$$\begin{aligned}\tilde{u}_i(y_i^k) &= f(u_i^L(y_i^k), u_i^C(y_i^k), u_i^R(y_i^k)), \\ \tilde{u}_i(\bar{y}_i) &= f(u_i^L(y_i^W), u_i^C(\frac{1}{2}(y_i^W + y_i^B)), u_i^R(y_i^B)), \\ \tilde{u}_i(\tilde{y}_i) &= f(u_i^L(y_i^W), u_i^C(y_i^C), u_i^R(y_i^B)).\end{aligned}$$

Если последствия выбора альтернативы описываются векторами исходов по  $i$ -му критерию  $\tilde{y}_i^k = y_i^{k1}, y_i^{k2}, \dots, y_i^{kq}$  и вероятностями их наступления  $p_i^k = p_i^{k1}, p_i^{k2}, \dots, p_i^{kq}$ , то предлагается следующий подход к определению полезности альтернативы:

$$\tilde{u}_i(\tilde{y}_i^k) = f(\sum_{j=1}^q u_i^L(y_i^{kj}) p_i^{kj}, \sum_{j=1}^q u_i^C(y_i^{kj}) p_i^{kj}, \sum_{j=1}^q u_i^R(y_i^{kj}) p_i^{kj}).$$

При описании последствий функцией плотности распределения вероятностей предлагается полезность альтернативы определять:

$$\tilde{u}_i(\tilde{y}_i^k) = f(\int u_i^L(y_i^k) p(y_i^k) dy, \int u_i^C(y_i^k) p(y_i^k) dy, \int u_i^R(y_i^k) p(y_i^k) dy).$$

На пятом этапе (рис. 1) определяются шкалирующие коэффициенты. Определение коэффициентов проводится в два шага. На первом шаге упорядочивают критерии по значимости. На втором шаге проводится формирование системы линейных уравнений с шкалирующими

коэффициентами, составленных из сопоставления альтернатив с равной полезностью или ценностью [Кини и др., 1981]. Например, если две альтернативы А, В имеют равную ценность, то, используя (3), можно сформировать уравнение:

$$\sum_{i=1}^n k_i v_i(y_i^A) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(y_i^B). \quad (4)$$

С учетом условия  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$  достаточно составить n-1 уравнений такого вида. Для упрощения, анализ проводится последовательно по парам критериев, оценки альтернатив А, В по другим критериям фиксируются на худшем уровне, что позволяет исключить соответствующие параметры из уравнения (4).

В условиях неопределенности предпочтений, ЛПР затрудняется устанавливать соответствия между равноценными альтернативами. Для возможности учета этой неопределенности предложен подход к определению шкалирующих коэффициентов [Шакиров, 2012].

Так, в результате применения предложенного подхода при аддитивной функции полезности или ценности, может быть сформирована система с нечеткими коэффициентами:

$$\begin{cases} \tilde{k}_2 = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^2), \\ \tilde{k}_3 = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^3), \\ \dots \\ \tilde{k}_j = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^j) \\ \dots \\ \tilde{k}_n = \tilde{k}_1 \tilde{v}_1(\tilde{y}_1^n), \\ \sum \tilde{k}_i = 1. \end{cases} \quad (5)$$

где  $\tilde{y}_1^j$  – нечеткая оценка по 1-му критерию, такая, что альтернативы, отличающиеся оценками только по 1-му и j-му критериям равноценны.

Особенностью решения уравнений с нечеткими числами является невыполнение свойства дистрибутивности, отсутствие обратного и противоположного числа [Борисов и др., 1989]. Первые подходы к решению нечетких уравнений заключались во введении дополнительных операций вычитания и деления нечетких чисел [Алексеев, 1982; Алексеев, 1983; Dubois et al., 1984]. Другие подходы к решению уравнений, в случае использования нечетких L-R чисел, основаны на разложении нечетких чисел по системе уровней множеств [Гвоздик, 1984]. Исследования применимости классических подходов, основанных на принципе обобщения [Борисов и др., 1989], показали, что достаточно часто решение не может быть найдено [Buckley et al., 1990].

Широкое распространение получили подходы, основанные на представлении системы нечетких линейных уравнений в виде множества



систем интервальных уравнений, получаемых при разбиении нечетких множеств по  $\alpha$ -уровням [Buckley et al., 1991; Vroman et al., 2007].

Множеством уровня  $\alpha$  нечеткого множества  $A$  в  $X$  называют множество в обычном смысле, составленное из элементов  $x \in X$ , степени принадлежности которых нечеткому множеству  $A$  не меньше числа  $\alpha$  [Орловский, 1981].

$$A_\alpha = \{x | x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

Нечеткое число  $\tilde{x}_i$  можно представить [Штовба, 2007]:

$$\tilde{x}_i = \bigcup_{\alpha \in [0;1]} \tilde{x}_{i,\alpha}.$$

Таким образом, из системы уравнений (5) можно получить множество интервальных систем линейных алгебраических уравнений (ИСЛАУ) вида:

$$\begin{cases} \bar{k}_{2,\alpha} = \bar{k}_{1,\alpha} \bar{v}_{1,\alpha} (\bar{y}_{1,\alpha}^2), \\ \bar{k}_{3,\alpha} = \bar{k}_{1,\alpha} \bar{v}_{1,\alpha} (\bar{y}_{1,\alpha}^3), \\ \dots \\ \bar{k}_{n,\alpha} = \bar{k}_{1,\alpha} \bar{v}_{1,\alpha} (\bar{y}_{1,\alpha}^n), \\ \sum \bar{k}_{i,\alpha} = 1. \end{cases}$$

где  $\alpha \in [0; 1]$ .

Объединенное множество решений ИСЛАУ будет включать множество решений, полученных из линейных систем вида:

$$\begin{cases} k_{2,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha} (y_{1,\alpha}^2), \\ k_{3,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha} (y_{1,\alpha}^3), \\ \dots \\ k_{j,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha} (y_{1,\alpha}^j), \\ \dots \\ k_{n,\alpha} = k_{1,\alpha} v_{1,\alpha} (y_{1,\alpha}^n), \\ \sum k_{i,\alpha} = 1. \end{cases}$$

где  $v_{1,\alpha}(y_{1,\alpha}^j) \in [v_{1,\alpha}^L(y_{1,\alpha}^{jW}); v_{1,\alpha}^R(y_{1,\alpha}^{jB})]$ ,  $k_{j,\alpha} \in [k_{j,\alpha}^L; k_{j,\alpha}^R]$ .

Прямое вычисление и описание множеств решений ИСЛАУ оказывается, как правило, трудоёмким, а часто и просто невозможным [Шарый, 2016]. Множество решений может иметь сложную структуру [Калмыков и др., 1986]. Практическим следствием этих фактов является неизбежная необходимость более грубого описания множеств решений, т.е. их замена на более простые множества – их приближения с меньшей сложностью описания [Шарый, 2016]. В современном интервальном анализе популярными способами оценивания являются внешнее и внутреннее оценивание [Шарый, 2016].

Для многокритериальной оценки альтернатив в условиях неопределенности предпочтений ЛПР представляет интерес именно

внешнее оценивание множества решений ИСЛАУ. К настоящему времени разработаны методы Гаусса, Гаусса-Зейделя, Кравчика, Хансена-Блика-Рона, формальный подход [Шарый, 2016]. Результат внешнего оценивания множества решений ИСЛАУ позволит установить интервалы изменения шкалирующих коэффициентов в условиях неопределенности предпочтений ЛПР и, далее, позволит получить нечеткие шкалирующие коэффициенты многокритериальных функций полезности, ценности.

На шестом этапе (рис. 1) проводится многокритериальная оценка альтернатив с помощью (1), (2) или (3), которые при использовании нечетких однокритериальных функций и шкалирующих коэффициентов будут иметь измененный соответствующий вид.

На седьмом этапе проводится анализ чувствительности, который сводится, в целом, к повторным оценкам альтернатив при изменении некоторой исходной информации. Целью является изучение зависимости оценок альтернатив от исходной информации модели принятия решений. Анализ чувствительности может проводиться в отношении объективной и субъективной информации – исходной и получаемой в процессе принятия решений от ЛПР [Кини, 1983]. В случае использования нечетких однокритериальных функций полезности или ценности, нечетких шкалирующих коэффициентов, необходимость в анализе чувствительности к изменению структуры ценностей ЛПР отсутствует. Более того, полученные в результате нечеткие многокритериальные оценки альтернатив в большей мере отражают возможные изменения системы ценностей ЛПР.

#### **4 Заключение**

Итак, в статье рассмотрено развитие методов многокритериальной теории полезности для случая неопределенности предпочтений ЛПР. Предложены процедуры построения нечетких однокритериальных функций полезности и ценности, процедуры определения нечеткой полезности исходов. Рассмотрены основные этапы применения методов MAUT и MAVT в условиях нечетко выраженных предпочтений ЛПР.

#### **Список литературы**

- [Алексеев, 1982] Алексеев А.В. Решение линейных нечетких уравнений // Тез. V научно-техн. семинара «Управление при наличии расплывчатых категорий». – Пермь. НИИ управл. машин и систем, 1982. – Ч.1. – С.24-27.
- [Алексеев, 1983] Алексеев А.В. Применение нечеткой математики в задачах принятия решений // Прикладные задачи анализа решений в организационно-технических системах. – Рига: Риж. Политехн. Ин-т, 1983. – С. 38-42.

- [Борисов и др., 1989] Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В., Слядзь Н.Н., Глушков В.И. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М: Радио и связь, 1989. – 304 с.
- [Гвоздик, 1984] Гвоздик А.А. Решение нечетких уравнений // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1984. – №5. – С. 176-183.
- [Калмыков и др., 1986] Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука, 1986. – 223 с.
- [Кини и др., 1981] Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: пер. с англ. / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
- [Кини, 1983] Кини Р.Л. Размещение энергетических объектов: выбор решений. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
- [Орловский, 1981] Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 208 с.
- [Шакиров, 2012] Шакиров В.А. Принятие решений в условиях нечетких предпочтений на основе многокритериальной теории ценности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 3. С. 48-55.
- [Шарый, 2016] Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ / Новосибирск: Издат. «XYZ», 2016. – 617 с.
- [Штовба, 2007] Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
- [Яцало и др., 2011] Яцало Б.И., Грицюк С.В., Мирзеабасов О.А. Учет неопределенностей в рамках многокритериального анализа решений с использованием концепции приемлемости / Управление большими системами. Выпуск 32. М.: ИПУ РАН, 2011. С.5-30.
- [Buckley et al., 1990] Buckley J.J., Qu Y. Solving Linear and Quadratic Fuzzy Equations // Fuzzy Sets and Systems, 1990, Vol. 38, pp. 43-59.
- [Dubois et al., 1984] Dubois D., Prade H. Inverse Operations for Fuzzy Numbers // Proc. of the IFAC Symp. Fuzzy Inform., Knowledge Representation a. Decision Analysis/ Ed.: E. Sanchez, M.M. Gupta. – Oxford: Pergamon Press, 1984. – pp. 18-38.
- [Huang et al., 2011] Huang I.B., Keisler J., Linkov I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends // Science of the Total Environment. 2011. Vol. 409, pp. 3578–3594.
- [Kailiponi, 2010] Kailiponi P. Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory (MAUT) // Procedia Engineering. 2010. Vol. 3, pp. 163-174.
- [Vroman et al., 2007] Vroman A., Deschrijver G., Kerre E.E. Solving systems of linear fuzzy equations by parametric functions // IEEE Transactions On Fuzzy Systems, 2007, Vol. 15, No. 3, pp. 370-384.
- [Yatsalo et. al., 2015] Yatsalo B., Didenko V., Gritsyuk S., Sullivan T., Decerns: a Framework for Multicriteria Decision Analysis // International Journal of Computational Intelligence Systems. 2015. Vol. 8, No. 3, pp. 467-489.

# DECISION MAKING SUPPORT UNDER UNCERTAINTY PREFERENCES BASED ON MULTI-ATTRIBUTE UTILITY THEORY

Shakirov V.A. (*mynovember@mail.ru*)  
Bratsk State University, Bratsk

The paper describes the decision-making technique in conditions of inaccurately expressed preferences of the decision-maker regarding the value of evaluations by criteria and the importance of criteria.

**Keywords:** utility theory, decision-making process, fuzzy number, interval.

## РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Гусынин О.С. (*oleg04301992@gmail.com*)  
Розалиев В.Л. (*vladimir.rozaliev@gmail.com*)  
ВолгГТУ, Волгоград

Статья посвящена обзору наиболее известных средств (платформ) распознавания эмоционального состояния человека в режиме реального времени, которые получают изображение лица человека напрямую с веб-камеры, фото или изображений. Приведено сравнение основных возможностей всех рассмотренных средств распознавания. А также методика, при помощи которой возможно улучшить точность распознавания эмоционального состояния человека, основанная на захвате и обработке, помимо карты лица, информации о движении кистей рук человека при помощи контроллера LeapMotion.

**Ключевые слова:** эмоциональное состояние, распознавание, веб-камера, реальное время, LeapMotion.

### 1 Введение

При сегодняшнем уровне развитии информационных технологий все больше значение имеет человеко-компьютерное взаимодействие. С каждым днем информационные системы становятся в се более дружелюбными к человеку, они все проще в использовании, но, до сих пор, они не способны в полной мере распознавать эмоции человека. Эмоции играют важную роль в жизни человека, поэтому важно распознавать эмоции и использовать их. На сегодняшний день разработано огромное множество API и SDK для определения эмоций человека. Причем, источником для таких систем может быть не только видео ряд, но и текст, звуковые ряды, изображения. Несмотря на все разнообразие представленных средств, использование из по отдельности не даст достаточной точности в определении эмоционального состояния человека. Но, при комбинировании различных средств можно добиться значительного увеличения точности распознавания. В статье приведены наиболее известные средства распознавания эмоций по видео и изображениям, а также приведем метод, при помощи которого возможно увеличить точность распознавания. Она основывается на применении, в

дополнении к средствам анализа видео и изображений, контроллера LeapMotion, который позволяет захватывать движение кистей рук человека с достаточно высокой точностью, что позволит, значительно увеличить точность распознавания текущего эмоционального состояния.

## **2 Обзор средств распознавания эмоций**

### **2.1 Affectiva**

Affectiva AI [Affectiva, 2012] идентифицирует человеческое лицо в режиме реального времени. В качестве источника информации может выступать изображение или видео файл. Алгоритмы компьютерного зрения определяют ключевые ориентиры на лице - например, углы бровей, кончик носа, углы рта. В дальнейшем, алгоритмы глубокого обучения анализируют пиксели в этих регионах для классификации выражений лица. Комбинации этих выражений лица затем отображаются на эмоции. Affectiva AI способен определять 7 показателей эмоций: гнев, презрение, отвращение, страх, радость, печаль и удивление, а также 20 показателей выражений лица. В предоставляемых SDK и API имеются возможности по определению эмоции, пола, возраста, этнической принадлежности и ряда других показателей.

### **2.2 Kairos**

В своей работе Kairos[Kairos, 2014] использует проприетарные алгоритмы машинного обучения. Благодаря этому технология Kairos способна определять все те же эмоции, что и технология Affectiva. Но, несмотря на это, Kairos имеет ряд ключевых особенностей, таких как: автокорректировка изображения при низкой освещенности, невосприимчивость к аксессуарам, таким как очки, алгоритмическое изучение лица человека с течением времени и адаптируемость к уникальным чертам и выражениям каждого человека. Для работы с видео и изображениями Kairos предлагает свой собственный SDK и облачный API (Cloud APIs).

### **2.3 Project Oxford by Microsoft**

Проект состоит из четырех групп самостоятельных облачных[Project Oxford, 2016] API: Face APIs, Computer Vision APIs, Speech APIs, Language Understanding Intelligent Services (LUIS). В набор служб Face APIs входят облачные алгоритмы обнаружения и распознавания человеческих лиц на фотографиях, а именно: Обнаружение границ лиц в виде описывающих прямоугольников с выделением дополнительных характеристик, вроде координат частей лица, положения головы, пола и эвристической оценки возраста; Широкий набор сервисов для распознавания, представляющих такие возможности как оценка схожести двух лиц, поиск похожих лиц на серии фотографий по заданному образцу, автоматическая группировка

фотографий и идентификация (распознавание) людей на основе заранее подготовленной обучающей выборки.

## **2.4 EmoVu**

Предоставляет новые методы, использующие Deep Learning[Eyeris, 2017], в которых используются сверточные нейронные сети (CNN). Методология распознавания выражений лица имитирует человеческое видение и позволяет алгоритму изучать прототипические выражения непосредственно с лица. Кроме того, методология вычисляет информацию о форме и текстуре, что приводит к беспрецедентной точности в вариантах неконтролируемой среды. Сложные ковариационные факторы, такие как изменения позы и освещения, смягчаются за счет использования надежного отслеживания лица, нормализации и синтеза положения и локальных дескрипторов признаков освещения. Разметка минимизируется с помощью строгой схемы классификации, состоящей из правил принятия решения / фильтрации, классификации и проверки.

## **2.5 Nviso**

Специализируется на анализе эмоциональных видеоизображений, используя технологию 3D-обработки изображений лица для мониторинга множества различных точек и способна работать в самых сложных природных условиях. Технология nViso[Nviso, 2015], полностью свободна от вмешательства человека и рассчитанная на работу в режиме реального времени, устойчива к плохому освещению, отсутствию фокусных изображений, окклюзии, а также размыванию движения в мобильных устройствах. Алгоритмы nViso захватывают сотни точек лица, отслеживая 43 лицевые мышцы в реальном времени. Полностью автоматизированная и не требует калибровки, специализированного лабораторного оборудования или экспертного персонала для работы.

## **2.6 Face Reader**

Используется в академической сфере. API-интерфейс Face Reader основан на компьютерном обучении. API использует 500 ключевых лицевых точек для анализа 6 основных выражений лица, а также нейтральности. Face Reader также определяет направление взгляда и ориентацию головы.

Face Reader работает в три этапа[Face Reader, 2014]. Первым этапом является распознавание лица. FaceReader использует алгоритм Виола-Джонса (Viola-Jones[Viola et al., 2001]) для обнаружения присутствия лица. Следующим этапом является точное моделирование лица с использованием алгоритмического подхода, основанного на методе Active Appearance[Cootes et al., 2000]. На последнем этапе модель обучается с помощью базы данных аннотированных изображений.

## 2.7 Sightcorp

Sightcorp предоставляет свою собственную SDK CrowdSight[CrowdSight, 2017]. Это кроссплатформенная программная библиотека для автоматического семантического анализа людей в видео и изображениях. CrowdSight SDK может использоваться для автоматического анализа лиц в реальном времени с помощью простой веб-камеры и передачи полученной информации в стороннее приложение. В настоящее время CrowdSight SDK позволяет оценить местоположение глаз, позы головы, настроение, возраст, пол, цвета одежды, шесть общих выражений лица, внимание и этничность предметов. В дополнение к этому, CrowdSight SDK может использоваться для отслеживания и распознавания лиц в широком диапазоне условий съемки.

## 3 Сравнение технологий распознавания эмоций

В рамках исследования был проведен анализ рассмотренных технологий по нескольким критериям: точность измерения эмоций, простота использования, мультиплатформенность, наличие SDK. Вся информация взята из официальной документации рассматриваемых технологий, либо из работ независимых исследователей. Такой субъективный критерии как: простота использования, оценивается в диапазоне от 0 до 5, где 0 – это наименьшая оценка, 5 – наибольшая. Точность распознавания представляет из себя среднее значение распознавания каждой эмоции, включая нейтральность. Мультиплатформенность является важной характеристикой любого приложения. В настоящее время насчитывается огромное множество различных операционных систем и возможность развернуть систему на нескольких из них является несомненным преимуществом. Наличие SDK будет преимуществом у разработчиков, поскольку именно это дает возможность интегрировать данную технологию в свои решения.

Таблица 1 – Сравнение технологий распознавания эмоций

	Affectiva	Kairos	Project Oxford	EmoVu	NViso	Face Reader	Sightcorp
Точность распознавания эмоций (среднее)	85%	-	80%	-	-	94%	75%
Простота использования	5	5	4	4	4	5	5
Мультиплатформенность	iOS, Android, Windows, Linux, macOS, Raspberry	iOS, Android, Windows, Linux, macOS, Raspberry	Web, Windows	Windows, Linux, Android, iOS	Web, Windows	Web, Windows	Windows, Linux, Mac



	spberry Pi	rry Pi					OS
Наличие SDK	да	да	нет	да	нет	нет	да

К сожалению, не во всей документации к рассматриваемым технологиям раскрывается точность распознавания эмоций, поэтому данная информация не отражена в таблице 1. Все представленные технологии имеют широкие возможности по анализу изображений и видео. Помимо распознавания эмоций рассмотренные технологии предлагают множество других функций: определение возраста, пола, этнической и гендерной принадлежности, считывание карты лица человека, определение цвета одежды, настроения и многое другое.

Многие компании представляют свои собственные SDK, что позволяет разработчикам интегрировать механизмы распознавания эмоций в свои приложения. Присутствует поддержка нескольких популярных языков программирования, таких как C++, C# и Python, что позволяет разрабатывать свои приложения под практически любую современную операционную систему: Windows, Linux, MacOS, iOS, Android и некоторые другие.

Подводя итоги, можно сделать некоторые выводы: если вы являетесь разработчиком и вам важно наличие SDK, то лучшим выбором будет технология Affectiva, данная технология имеет отличную точность распознавания, имеет SDK и поддерживает множество платформ. Но, если вам необходимо лишь проанализировать некоторые данные и вам не нужно интегрировать механизмы распознавания эмоций в свои приложения, то лучшим выбором будет Face Reader от Noldus, который показывает лучшую точность распознавания и имеет удобный API.

#### **4 Методика улучшения точности распознавания эмоций**

Для увеличения точности распознавания эмоций возможно использовать, помимо веб-камеры, контроллер Leap Motion [LeapMotion, 2017]. При помощи контроллера необходимо считывать динамику движения рук человека и, затем, сопоставлять полученную информацию с той, которая получена при помощи веб-камеры. Данная методика заключается в следующем: сперва происходит считывание карты лица человека и определение его эмоций, затем эта информация сопоставляется с данными полученным с помощью контроллера Leap Motion, что поможет подтвердить, либо опровергнуть те эмоции, которые человек проявляет в данный момент. Не всегда удастся абсолютно точно определить, какую эмоцию проявляет человек в данный момент, так, например, широко открытые глаза могут говорить о том, что

человек удивлен, либо напуган, возникает неопределенность. В этом и состоит преимущество использования контроллера Leap Motion совместно с веб-камерой. Если контроллер показывает, что у человека трясутся руки, то это с большой долей вероятности страх, если же они находятся в спокойном состоянии, то, скорее всего это удивление. В данном исследовании не рассматриваются случаи, в которых человек может быть болен чем-либо, что может сказываться на характере его жестов и мимики.

Для определения эмоций необходимо зафиксировать динамику движения рук человека, например, резкое изменение положения рук в пространстве будет означать испуг и, как следствие страх. Сопоставив эти данные с данными, полученными с веб-камеры, можно с уверенностью сказать, является ли данная эмоция страхом.

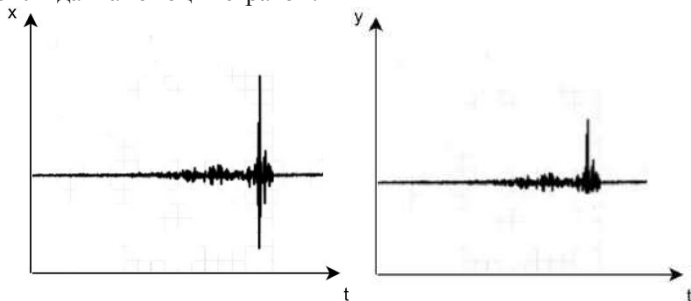


Рисунок 1 – Резкое изменение положение рук в пространстве при испуге.

На рисунке 1 изображен график изменения координат руки человека во времени. При испуге характерны резкие, кратковременные движения. Если сопоставить эти данные с данными полученными с веб-камеры, показывающей, что у человека сильно открыты глаза, то можно с уверенностью сказать, что этот человека, в данный момент, испытывает чувство страха.

Данный метод позволит, в целом позволит улучшить точность распознавания эмоций, в частности те эмоции, которые являются наиболее труднораспознаваемыми, такие как: страх, отвращение и злость.

## 5 Заключение

В рамках статьи был проведен обзор наиболее известных средств (платформ) распознавания эмоционального состояния человека в режиме реального времени, которые получают изображение лица человека напрямую с веб-камеры, фото или изображений. Приведено сравнение основных и наиболее ценных возможностей всех рассмотренных средств распознавания, все данные были приведены в таблице 1. А также методика, при помощи которой возможно улучшить точность

распознавания эмоционального состояния человека, основанная на захвате и обработке, помимо карты лица, информации о движении кистей рук человека при помощи контроллера LeapMotion.

### Список литературы

- [Affectiva, 2012] What is it and how does it work? [Электронный ресурс] //Официальный сайт Affectiva: [сайт].URL: <https://www.affectiva.com/emotion-ai-overview/> (дата обращения: 25.09.2017).
- [Cootes et al., 2000] Statistical models of appearance for computer vision. Technical report, University of Manchester, Wolfson Image Analysis Unit, Imaging Science and Biomedical Engineering, 2000.
- [Crowdsight, 2017] CrowSight SDK docs [Электронный ресурс] //Официальный сайт Sightcorp: [сайт].URL <http://sightcorp.com/docs/crowdsight/latest/> (дата обращения: 25.09.2017).
- [Eyeris, 2017] The Eyeris EmoVu SDK Documentation [Электронный ресурс] //Официальный сайт Eyeris: [сайт].URL: [http://emovu.com/docs/html/getting\\_started.html/](http://emovu.com/docs/html/getting_started.html/) (дата обращения: 25.09.2017).
- [Face Reader, 2014] FaceReader methodology note [Электронный ресурс] //Официальный сайт Noldus: [сайт].URL [http://www.noldus.com/files/file\\_manager/downloads/whitepaper/FaceReader\\_Methodology.pdf](http://www.noldus.com/files/file_manager/downloads/whitepaper/FaceReader_Methodology.pdf) (дата обращения: 25.09.2017).
- [Kairos, 2014] Kairos Human Analytics Demos [Электронный ресурс] //Официальный сайт Kairos: [сайт].URL: <https://www.kairos.com/demos> (дата обращения: 25.09.2017).
- [LeapMotion, 2017] Leap Motion overview [Электронный ресурс] //Официальный сайт LeapMotion: [сайт].URL <https://www.leapmotion.com/product/vr#113> (дата обращения: 25.09.2017).
- [Nviso, 2015] Emotions measurement and analytics [Электронный ресурс] //Официальный сайт Nviso: [сайт].URL: <http://www.nviso.ch/solutions-for-market-researchers.html> (дата обращения: 25.09.2017).
- [Project Oxford, 2016] Cognitive Services [Электронный ресурс] //Официальный сайт Microsoft: [сайт].URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/> (дата обращения: 25.09.2017).
- [Viola et al., 2001] Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, HI, U.S.A., December 8-14, 2001.

## REAL TIME HUMAN EMOTIONS RECOGNITION

Gusynin O.S. (*oleg04301992@gmail.com*)  
Rozaliev V.L. (*vladimir.rozaliev@gmail.com*)  
VSTU, Volgograd

The article is devoted to a review of the most known means (platforms) for recognizing the emotional state of a person in real time, which receive an image of a person's face directly from a web camera, photos or images. The comparison of the basic capabilities of all the reviewed recognition tools is given. And also a technique by which it is possible to improve the accuracy of recognition of a person's emotional state, based on capture and processing, in addition to the face map, information about the movement of human hands using the LeapMotion controller.

**Keywords:** emotional state, recognition, webcam, real time, LeapMotion.

## НЕЧЁТКО-НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРА РУКОПИСНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ РОСГВАРДИИ

Ермоленко А.В. (*ermolenko@rambler.ru*)  
Академия управления МВД России, г. Москва

В работе рассмотрены аспекты поддержки принятия решений при идентификации автора рукописного текста. Предложен оригинальный метод формирования признаковой базы уникальных характеристик почерка на основе строкового и межбуквенного анализа. Модифицирован критерий информативности и показана разделимость признаковой базы.

**Ключевые слова:** нейросеть, идентификация почерка.

### 1 Введение

Современные методы обработки информации, а также решения задач управления на основе нейронных сетей и нечётких множеств, призваны оказать поддержку лицу, принимающему решение (ЛПР), не являющемуся профессионалом в обрабатываемой экспертной области. Разработка таких средств актуальна для крупных социальных систем и позволяет совершенствовать процессы принятия решений (ППР) не только снижением человеческого фактора, но и оптимизацией временных и ресурсных затрат на принятие решения. Одной из сфер эффективного применения таких информационных технологий является установление подлинности рукописного документа. Очевидно при этом, что замена рукописного документооборота аутентичным электронным для многих направлений деятельности социальных систем затруднительна и/или нецелесообразна.

В практической деятельности экспертно-криминалистических подразделений МВД РФ решаются задачи по высококвалифицированному установлению автора почерка. Разработаны и апробированы различные комплексы автоматизации ручной работы эксперта-криминалиста. Однако работа данных комплексов ориентирована на эксплуатацию узкими профессионалами и не предназначена для скоростной обработки больших объёмов данных. Комплексы оценки подлинности рукописных документов

для больших социальных систем, которые не только автоматизируют труд почерковеда, но и идентифицируют автора, развиты слабо. Достоинства мягких вычислений и нейронных сетей в тандеме с современными возможностями компьютерной обработки информации используются не в полном объёме.

## 2 Модель управления

Вневедомственная охрана Росгвардии представляет собой сложную социальную систему организации, штат сотрудников которой составляет более 125 тыс. человек. Основное место в дереве целей вневедомственной охраны занимает недопущение краж с охраняемых объектов и квартир ( $A_1$ ), количество которых на сегодня превышает 1,5 млн. Вместе с тем, охрана факультативно решает ряд иных важных социально-экономических задач. Ежегодно подразделения ОВО перечисляют в бюджет России свыше 42 млрд. руб ( $A_2$ ). При этом сотрудниками групп задержания (ГЗ) вневедомственной охраны раскрывается ежегодно более 50 тыс. преступлений ( $A_3$ ), разыскивается свыше 6 тыс. лиц находящихся в розыске ( $A_4$ ) и пресекается более 2,5 млн. административных правонарушений ( $A_5$ ). Стабилизирующую роль играет институт вневедомственной охраны наиболее выражено в малых городах, являясь единственной круглосуточной службой правопорядка, а в отдельных населённых пунктах и в принципе единственным органом власти ( $A_6$ ).

Формализованная модель управления подразделением вневедомственной охраны тактического звена управления представима в виде (1)

$$\langle S_0, T, Q \perp S, A, B, Y, f, K, Y^* \rangle, \quad (1)$$

где:  $S_0$  – проблемная ситуация;  $T$  – время на принятие решения;  $Q$  – потребные для принятия решения ресурсы;  $S = (S_1, \dots, S_n)$  – множество альтернативных ситуаций, доопределяющих проблемную ситуацию  $S_0$ ;  $A = (A_1, \dots, A_K)$  – множество целей, преследуемых при принятии решения;  $B = (B_1, \dots, B_j)$  – множество ограничений;  $Y = (Y_1, \dots, Y_m)$  – множество альтернативных вариантов решения;  $f$  – функция предпочтения ЛПР;  $K$  – критерий выбора решения;  $Y^*$  – оптимальное решение [Пупков К.В. и др., 2004].

Нами изучены проблемные звенья формализованной модели управления, с учётом имеющихся ресурсов и ограничений, с целью решения задачи оптимизации в условиях многокритериальности. Проведенный анализ повседневной деятельности ЛПР изучаемой социальной системы показал, что актуальным аспектом является недопущение принятия решений по фальсифицированным рукописным документам. При этом важна работа с рукописными документами, не только внешних заявителей, но и собственных сотрудников организации [Ермоленко и др., 2016а].

Исследования показали, что одним сотрудником договорной службы в день обрабатывается более 40 рукописных заявлений внешних контрагентов. При этом сильны влияния сезонных компонент, в отдельные временные периоды, мультипликативно увеличивающих данный показатель. Вместе с тем, анализ внутреннего рукописного документооборота организации показал, что поверхностной проверке в типовом подразделении в конце месяца подвергается более 15 тыс. подписей, что вызывает отвлечение трудового времени работника бухгалтерии минимум на 3 рабочих дня и несёт под собой затрат только лишь зарплатного фонда в 6 тыс. руб. на одного сотрудника. При этом не приходится говорить о качестве такой экспертной оценки.

Таким образом, в процессе управленческой деятельности имеется необходимость в экспертной поддержке принимаемых решений средствами искусственного интеллекта. Эти средства должны быть ориентированы на разработку новых методов и моделей идентификации почерка.

### 3 Синтез решающей модели

В основе предлагаемой системы поддержки принятия решения (СППР) лежит нечётко-нейросетевая идентификация (рис. 1).

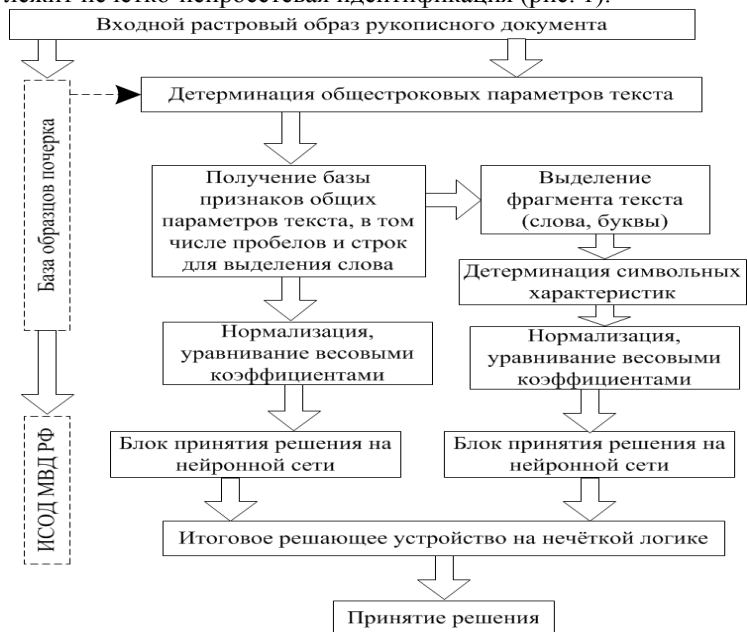


Рисунок 1 – Архитектура СППР

Проведенный в ходе исследований анализ показал, что различные характеристики почерка по-разному подчёркивают уникальность его автора. [Ермоленко и др., 2016b]. В целях оценки информативности характеристик почерка и их уравнивания разработана модификация критерия Шеннона (2), несколько упрощённая сравнительно с оригинальной, в целях снижения алгоритмической сложности решающей модели:

$$\mu_j = \frac{\int_{false\_min_j}^{t\_per_j} f\_false_j(x)dx + \int_{t\_per_j}^{true\_max_j} f\_true_j(x)dx}{\int_{false\_min_j}^{false\_max_j} f\_false_j(x)dx + \int_{true\_min_j}^{true\_max_j} f\_true_j(x)dx}. \quad (2)$$

Идентификация внутри групп параметров рукописного текста реализована посредством нейронных сетей. При создании идентификационного модуля изучены и опробованы возможности применения различных топологий нейронных сетей, в том числе самоорганизующихся, радиально-базисных и вероятностных. Вместе с тем, проведенные исследования показали, что, с учётом наличия в ОВО априорно достоверного образца почерка, оптимальной решающей моделью является сеть обратного распространения ошибки с формированием обучающей выборки формализацией почерковых характеристик исходного образца.

Решение задачи классовой идентификации образцов почерка решается в терм-паре «подлинник»-«фальсификация», в связи с чем формирование обучающих и тестирующих выборок  $F\_O$ ,  $T\_O$ ,  $F\_T$ ,  $T\_T$  синтезируемых нейронных сетей реализовано в разностном представлении:

$$O = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_N \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^1 - x_2^1 & x_1^2 - x_2^2 & & x_1^M - x_2^M \\ x_1^1 - x_3^1 & x_1^2 - x_3^2 & & x_1^M - x_3^M \\ \dots & \dots & & \dots \\ x_1^1 - x_N^1 & x_1^2 - x_N^2 & & x_1^M - x_N^M \\ x_2^1 - x_3^1 & x_2^2 - x_3^2 & & x_2^M - x_3^M \\ x_2^1 - x_4^1 & x_2^2 - x_4^2 & \dots & x_2^M - x_4^M \\ \dots & \dots & & \dots \\ x_2^1 - x_N^1 & x_2^2 - x_N^2 & & x_2^M - x_N^M \\ \dots & \dots & & \dots \\ x_{N-1}^1 - x_N^1 & x_{N-1}^2 - x_N^2 & & x_{N-1}^M - x_N^M \end{pmatrix}$$

что позволяет увеличить размерность выборки до  $\dim(O) = M \times \frac{N(N-1)}{2}$ ,  $M = M_1 + M_2$ , где  $M_1$  – грубая (строковая), а  $M_2$  – тонкая (символьная) группа параметров.

В целях поиска оптимального баланса алгоритмической сложности (по ресурсным и временным ограничениям принятия решения) и качества идентификации исследованы различные методики обучения сети. Проведенный анализ показал, что для обучения сети градиентным



$$P_{k+1} = -g_{k+1} + \frac{(S_k, g_{k+1})Y_k + (Y_k, g_{k+1})S_k}{(Y_k, S_k)} - \frac{(S_k, g_{k+1})}{(Y_k, S_k)} \frac{1 + (Y_k, Y_k)}{(Y_k, S_k)} S_k$$

$S_k = X_{k+1} - X_k$  – вектор, равный изменению  $X$  на  $k$ -й итерации,  
 $Y_k = g_{k+1} - g_k$  – соответствующее изменение градиента [Комарцова Л.Г. и др., 2004].

Детерминация строковых характеристик почерка реализована нами посредством сегментации изображения разбиением на кластерные столбцы, виртуализацией кластеров неполных строк, многоступенчатой фильтрацией и аппроксимацией опорной траектории написания строки (рис. 2).



Аппроксимация опорной траектории позволяет сформировать ортогональную виртуальную линейку, статистический анализ интенсивностей пикселей букв при движении которой формализует 10 общепочерковых (строковых) параметров, а также позволяет выделить отдельные слова для тонкого (символьного) анализа особенностей авторского написания букв и межбуквенных соединений [Ермоленко и др., 2016с].

В основу разработанных методов тонкой символьной идентификации положено кодирование контура символов трапециями (рис. 3) с динамически изменяемыми основаниями и их последующей фильтрацией.

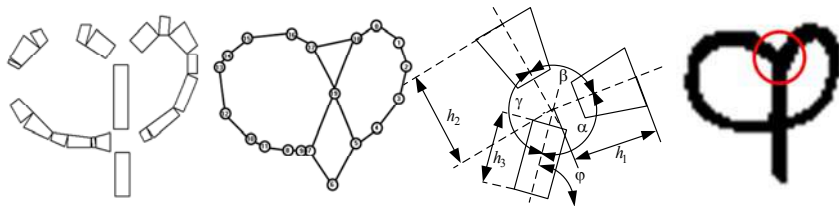


Рисунок 3 – Кодирование трапециями и детерминация 3-х лучевых соединений

В работе решена задача поиска узловых областей в графе кодированного представления рукописного символа посредством внутреннего и внешнего обхода  $i$ -й вершины. Анализ узловых областей по ним позволяет восстановить углы межлучевых соединений, трудно распознаваемых человеком, но несущих информацию об уникальности авторского написания. Предлагаемый метод формирования векторов начнем с выбора пары точек (допустим,  $M$  и следующей за ней  $P$  первой изучаемой кривой. Имея, определённые ранее координаты,  $\{x, y\}$  построим через данные точки прямую  $Ay + Bx + C = 0$  с детерминируемыми параметрами  $\{A, B, C\}$ . Все точки  $N(x_i, y_i)$  контура, находящиеся между  $\{M, P\} \forall Ax_i + By_i = C$  должны удовлетворять условию (3):

$$|\delta| \leq \text{const}, \text{ где } \delta = \frac{Ay_i + Bx_i + C}{\sqrt{A^2 + B^2}}. \quad (3)$$

При этом непосредственная детерминация реализована последовательным описанием символа в представлении графом с формированием статистической матрицы и списка смежности.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.
1	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X
6	.	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X
8	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.
11	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.
12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.
13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.	.
16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.	.
17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	X	.
18	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	X	.	.
19	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	.

а)

0:	1, 18,	5:	4, 6, 19,
1:	0, 2,	6:	5, 6, 7,
2:	1, 3,	7:	6, 9, 19,
3:	2, 4,	17:	16, 18, 19,
4:	3, 5,	18:	0, 17, 19,
✓5:	4, 6, 19,	19:	5, 7, 17, 18,
✓6:	5, 6, 7,		
✓7:	6, 9, 19,		
8:	9, 11,		
9:	7, 8,		
10:	11, 12,		
11:	8, 10,		
12:	10, 13,		
13:	12, 14,		
14:	13, 15,		
15:	14, 16,		
16:	15, 17,		
✓17:	16, 18, 19,		
✓18:	0, 17, 19,		
✓19:	5, 7, 17, 18,		

б)

в)

Рисунок 4 – а) – матрица, б) – список смежности; в) – вспомогательный список

Предложенные методы позволяют формализовать 14 характеристик почерка, с последующим их включением в СППР. Проведенная в работе оценка информативности позволяет сформулировать вывод о том, что наиболее информативными символьными характеристиками являются углы 3-х лучевых соединений, а из числа строковых характеристик – относительная высота букв и углы наклона.

Нейросетевая идентификация в разработанной модели принятия решения проводится параллельно по строковым и символьным группам параметров. Проведенные исследования показывают, что в ряде случаев (фальсификаций без явного подделывания) грубые (общестроковые) характеристики дают более уверенные показатели идентификации, несмотря на меньшую информативность данных характеристик. В то же время подделка рукописи умышленным копированием стиля почерка более эффективно распознаётся нейросетевой моделью тонких (межсимвольных) параметров текста. Разработанные нечётко-нейросетевая модель идентификации и методы обработки информации и детерминации уникальных характеристик почерка реализованы в готовое программное обеспечение, позволяющее с доверительным интервалом 0,9 идентифицировать автора почерка в течение 7 секунд компьютерной экспертизы.

## 5 Заключение

В результате исследований синтезирована система поддержки принятия решений, позволяющая идентифицировать автора рукописного текста. Проведенный анализ информативности полученных результатов подтверждает, что полученная признаковая база представляет собой разделимые множества. Проанализированы и изучены свойства различных

моделей идентификации при условии формализованного входного набора признаков. Предложена и разработана схема блока принятия решения. Применительно к условиям данной задачи подобрана решающая модель на основе квазиньютоновской BFGS-нейронной сети с методом обучения по обратному распространению ошибки. Разработанное программное обеспечение отлажено и готово к работе, что подтверждено свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы за № 2007612599.

### **Список литературы**

- [Ермоленко и др., 2016a] Ермоленко А.В., Ермоленко В.А.. Поддержка принятия решений при нейросетевой идентификации автора почерка. Известия Тульского Государственного университета. Технические науки., 2016.
- [Ермоленко и др., 2016b] Ермоленко А.В., Белова И.К., Дерюгина Е.О. Методы контурного анализа при формировании пространства признаков в задаче нейросетевой идентификации. ISSN 1560-4128 "Электромагнитные волны и электронные системы", 2016, Т. 21, №7.
- [Ермоленко и др., 2016с] Ермоленко А.В., Д.А. Кузнецов, М.О. Корлякова. Методы детерминации уникальных характеристик рукописного текста. Научноёмкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы Региональной научно-технической конференции, 19-21 апреля 2016 г. Т. 1 Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
- [Комарцова Л.Г. и др., 2004] Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 – 397 с.
- [Пупков К.В. и др., 2004] Методы классической и современной теории автоматического управления: Уч-к в пяти тт.; 2-е издание изд., перераб. и доп. Т. 5.: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с.

## **DECISION-MAKING SUPPORT FOR NEURAL NETWORK HAND-WRITTEN STATEMENTS AUTHOR IDENTIFICATIONS**

Ermolenko A.V. (*ermolenko@rambler.ru*)  
Management Academy of Ministry for Internal Affairs of Russia

Questions of decision-making support on processing of hand-written documents are considered. The author has developed an original allocation method of unique handwriting characteristics on the basis of

the line and symbols analysis. The informational content criterion is modified and parametric base divisibility is shown.

**Keywords:** neural net, hand-writing, clustering, identifications.

# НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ВЕРСИИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ЗНАНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

Рыбина Г.В. (*galina@ailab.mephi.ru*)  
Данякин И.Д. (*galina@ailab.mephi.ru*)  
Национальный Исследовательский Ядерный  
Университет МИФИ, Москва

Рассмотрены проблемы приобретения темпоральных знаний для автоматизированного построения баз знаний в динамических интегрированных экспертных системах, разработка которых осуществляется на основе задачно-ориентированной методологии и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Представлены особенности темпоральной версии комбинированного метода приобретения знаний. Приведено описание модифицированной версии алгоритма Random Forest для приобретения темпоральных знаний из базы данных.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы; интегрированные экспертные системы; задачно-ориентированная методология; приобретение темпоральных знаний; темпоральные БД; обработка ЕЯ; комбинированный метод приобретения знаний; комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

## 1 Введение

В настоящее время, в связи с расширением сферы применения динамических интеллектуальных систем, в частности, динамических интегрированных экспертных систем (ИЭС) [Рыбина, 2008], особую актуальность получили исследования, связанные с приобретением, представлением и обработкой темпоральных знаний (т.е. знаний, использующих время как сущность). Соответственно, возросли значимость и

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-04696).

роль степени автоматизации труда экспертов и инженеров по знаниям за счет создания программных средств поддержки процессов получения знаний, как на основе разработки методов и средств получения (выявления) темпоральных знаний из естественно-языковых текстов (ЕЯ-текстов) в контексте технологии Text Mining, так и путем использования методов и средств приобретения знаний из БД в контексте технологии Data Mining [Aggarwal и др, 2012].

Анализ англоязычных работ, посвященных общим проблемам извлечения темпоральной информации из ЕЯ-текстов, проведенный в [Рыбина и др, 2015a], показал, что, несмотря на отсутствие унифицированной терминологической базы, извлечение темпоральной информации рассматривается как совокупность процессов извлечения темпоральных примитивов (сущностей) – событий и темпоральных указателей (маркеров) и процессов установления темпоральных связей (отношений, зависимостей) между сущностями, а работа любой автоматизированной системы оперирования темпоральными связями начинается с выделения релевантных сегментов ЕЯ-текста (т.е. сегментов, содержащих основную информацию о событиях, темпоральных указателях и связях). Однако процессы извлечения темпоральной информации из ЕЯ-текстов на русском языке значительно усложняются за счет таких факторов, как: большое лексическое разнообразие способов выражения времени; сложность определения темпоральных отношений между событиями; наличие характерной для русского языка многозначности и др.

Как показано в [Рыбина и др, 2015a], в общем случае задача извлечения темпоральной информации из ЕЯ-текстов разбивается на подзадачи, связанные как с поиском темпоральных отношений внутри предложения и/или в соседних предложениях, так и с поиском отношений, указывающих на время создания текста. Для решения этих проблем применяются различные подходы и методы: получения темпоральных знаний из временных рядов [Заболеева-Зотова и др, 2015], машинное обучение нейронных сетей [Pan, 2007], построение онтологий и поиск на графе понятий [Schilder, 1997], логика Маркова [Yoshikawa и др, 2009] и др. Некоторые методы опираются на использование большого корпуса аннотированных с помощью языка TimeML проблемно-ориентированных текстов, однако создание подобного корпуса для русского языка на данном этапе представляется проблематичным.

Не менее важной проблемой является сегодня разработка методов получения темпоральных данных, под которыми в соответствии с [Kaufmann и др, 2013] понимаются произвольные данные, явно или неявно связанные с определёнными датами или промежутками времени. Базы данных и СУБД, хранящие темпоральные данные, учитывающие

специфическую природу времени и изменчивость данных во времени называются темпоральными базами данных. Классические СУБД также могут работать с темпоральными базами данных (БД), однако разработчик сам должен обеспечить обработку времени.

В реляционной БД может сохраняться информация о событиях и интервалах времени, соответствующих различным представлениям и связям, но поскольку в основном рассматриваются классические СУБД, то специальной поддержки хранения информации о времени нет, кроме существования специального типа данных (DATA, TIMESTAMP и др., конкретное название зависит от используемой СУБД).

Как правило, выделяются два вида данных для представления времени - время фиксации определённого события или факта и время выполнения какого-либо действия или операции. Под временем фиксации подразумевается случай, когда с данными связывается промежуток времени их актуальности (с точки зрения моделируемого мира). Под временем выполнения действия или операции подразумевается транзакционное время, т. е. время последнего изменения записи в БД. Типичным примером темпоральной БД является БД, хранящая данные в виде временных рядов, т.е. база, в которой собран статистический материал о значении каких-либо параметров некоторого процесса с указанием времени измерения.

Для приобретения темпоральных данных из БД наиболее часто используются такие методы Data Mining как метод скользящих окон [Wan и др, 2013] и специальные версии базовых алгоритмов Data Mining, основанные на деревьях решений [Aggarwal и др, 2012]. (CPD, темпоральный ID3, CART, Random Forest и др.)

В целом, можно отметить, что не смотря на наличие значительного количества подходов к представлению темпоральных зависимостей в контексте Text Mining и Data Mining, однако, проблемы получения темпоральных знаний для построения темпоральных баз знаний (БЗ) в динамических интеллектуальных системах, в частности в динамических ИЭС [Рыбина и др, 2015a] [Рыбина, 2014] практически не рассматриваются. Именно этим вопросам посвящен целый ряд работ последних лет, связанных с новым этапом развития задачно-ориентированной методологии построения ИЭС и поддерживающего данную методологию инструментария нового поколения типа Workbench – комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [Рыбина, 2008] [Рыбина, 2014].

Целью данной работы является краткое описание результатов экспериментального программного моделирования процессов приобретения темпоральных знаний из различных источников для автоматизированного построения БЗ в динамических ИЭС.



## **2 Общая характеристика комбинированного метода приобретения знаний**

В соответствии с концептуальными основами задачно-ориентированной методологии построения ИЭС [Рыбина, 2008] неотъемлемой частью данной методологии является комбинированный метод приобретения знаний (КМПЗ) и автоматизированная технология его использования на различных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) построения ИЭС и веб-ИЭС. Базовая версия КМПЗ и средства его реализации уже много лет успешно применяются для автоматизации процессов разработки БЗ в статических проблемных областях (ПрО), составляя ядро автоматизированного рабочего места инженера по знаниям на основе инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Сегодня поддерживается распределенный вариант компьютерного приобретения знаний [Рыбина и др, 2010][Rybina и др, 2013], обеспечивающий в рамках клиент-серверной архитектуры интеграцию разных источников знаний (эксперты, ЕЯ-тексты, БД) с учетом их географической распределённости.

Детальное описание современной версии КМПЗ и опыта его использования содержится в [Рыбина, 2008] [Рыбина, 2014] [Рыбина и др, 2010] [Rybina и др, 2013], поэтому сфокусируем основное внимание только на особенностях КМПЗ, наиболее важных с точки зрения исследования возможностей развития КМПЗ с целью автоматизированного построения темпоральных БЗ для динамических ИЭС, прототипирование которых осуществляется на основе задачно-ориентированной методологии и интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Важная особенность КМПЗ заключена в способе организации процесса прямого получения знаний от экспертов путем компьютерного интервьюирования на всех этапах ЖЦ построения ИЭС на основе авторского подхода «ориентации на модель решения типовой задачи» [Рыбина, 2008], в соответствии с которым управляющие знания о стратегиях (методах) решения конкретных классов задач, решаемых схожим образом, оформляются в виде некоторой эвристической модели типовой задачи (диагностика, проектирование, планирование и др.). Поэтому процессы получения знаний управляются с помощью наборов моделей решения типовых задач, для чего наработан и постоянно развивается ряд приемов и подходов, позволяющих создавать сценарии ЕЯ-диалогов с экспертами, отражающих как тематическую структуру диалога (т.е. схему решения типовой задачи), так и локальную структуру диалога (шаги диалога), т.е. набор конкретных действий и реакций между экспертом и системой.

Следовательно, процессы получения знаний являются компьютерным моделированием, позволяющим в процессе ЕЯ-диалога с экспертами строить и означивать все компоненты модели решения типовой задачи и формировать

как фрагменты поля знаний (промежуточное представление структурированных знаний, используемое для верификации информации, полученной из различных источников [Рыбина, 2008]), так и соответствующие фрагменты БЗ. Для построения схемы «действие - реакция» партнеров используется несколько техник реализации, например, метод «имитация консультации» и др.

Основными базовыми элементами поля знаний являются объекты и связывающие их правила, причем каждый объект соответствует одному или нескольким ЕЯ-ответам на ЕЯ-вопрос, задаваемый эксперту в течение текущего сеанса интервьюирования. Тематическая структура диалога и содержание ЕЯ-вопросов к эксперту ориентированы на то, чтобы каждый ЕЯ-ответ эксперта интерпретировался как имя объекта, имя атрибута, имя типа атрибута, значение или диапазон значений атрибута, а также как информация, входящая в посылку или действие другого элемента внутреннего представления – правила.

На основе базового ЯПЗ для представления темпоральных знаний был разработан расширенный ЯПЗ для динамических ИЭС [Рыбина и др, 2014][Rybina и др, 2014], позволяющий представлять темпоральные знания, основанные на модифицированной интервальной логике Аллена [Allen, 2013] и логике управления во времени [Осипов, 2008], совместно с базовыми знаниями, в том числе содержащими знания с неопределенностью, неточностью и нечеткостью [Рыбина, 2008]. Поэтому, процесс формирования объектов и правил поля знаний в темпоральной версии КМПЗ опирается прежде всего на возможность введения таких сущностей ПрО как события и темпоральные интервалы, а также на добавление в посылки правил связей между этими сущностями.

Процессы интервьюирования экспертов поддерживаются с помощью интерпретатора сценариев ЕЯ-диалога, причем каждый сценарий соответствует конкретному типу решаемой задачи. Кроме того предусмотрены специальные экранные формы для ввода недостоверных знаний (неопределенность, неточность, нечеткость) и подключения средств, реализующих адаптивный метод репертуарных решеток [Рыбина, 2008] (например, для реализации процедур дифференцирования диагнозов в случае активации сценария для задачи медицинской диагностики). В составе программных средств поддержки базового и распределенного КМПЗ важное место занимает специализированный лингвистический процессор и совокупность динамически пополняемых словарей (лингвистические аспекты КМПЗ в контексте методов Text Mining детально описаны в [Рыбина, 2008]).

Был проведен комплекс исследований по моделированию с частичным использованием программных средств, поддерживающих базовый КМПЗ, серии экспериментальных диалогов для построения фрагментов БЗ для ПрО,

связанной с медицинской диагностикой. Для языкового эксперимента использовалась лингвистическая модель подязыка деловой прозы [Рыбина, 2008] и специализированный лингвистический процессор, а в качестве эвристической модели типовой задачи - задача диагностики и модифицированные сценарии тематической и локальной структуры диалога. Результаты проведенных экспериментов описаны в [Рыбина и др, 2015a].

Другая особенность КМПЗ заключается в том, что КМПЗ является интеграцией тесно связанных между собой процессов компьютерного интервьюирования экспертов с методами обработки ЕЯ-текстов (вводимых как в течение сеанса интервьюирования, так и после окончания в виде протоколов интервьюирования экспертов), а также с методами приобретения знаний из БД [Рыбина, 2008], причем локальное использование БД в качестве дополнительного источника знаний для построения статических ИЭС способно пополнить объем разрабатываемых БЗ на 10-12% в зависимости от специфики ПрО [Рыбина, 2014] [Рыбина и др, 2010].

Поскольку цикл исследований в рамках создания темпоральной версии распределенного КМПЗ был сфокусирован на решении проблем связанных с методами и алгоритмами приобретения (в первую очередь темпоральных знаний из БД, поэтому рассмотрим более подробно эти вопросы.

### **3 Особенности модифицированной версии алгоритма Random Forest**

В контексте требований КМПЗ для реализации процессов приобретения темпоральных знаний в качестве базового алгоритма был выбран алгоритм Random Forest, модифицированный для поддержки работы с темпоральными БД. В основу модифицированного алгоритма положены методы построения темпоральных деревьев решений и базовые методы алгоритма Random Forest [Tzacheva и др, 2013], основой адаптации которого является использование двумерных подвыборок для построения каждого из деревьев (в качестве пространств подвыборок используются случайные множества признаков и временных меток).

Рассмотрим кратко суть адаптированного к условиям функционирования в составе КМПЗ алгоритма Random Forest. Для выборки, состоящей из  $N$  примеров (размерность пространства признаков равна  $M$ , количество различных временных меток  $T$ ), фиксируются два параметра –  $m=\sqrt{M}$ ,  $t=\sqrt{T}$ , где  $m$  и  $t$  – размерности случайного множества признаков и временных меток, используемых при работе алгоритма.

Построение ансамбля деревьев решений производится в соответствии с базовым алгоритмом, однако, расчет значения критерия разбиения притерпел изменения, обусловленные использованием многомерного пространства признаков. Следует отметить, что значение информационной энтропии

вычисляется согласно [Tzacheva и др, 2013], причем среднее арифметическое вычисленных значений будет являться критерием разбиения.

В отличие от решающих деревьев, построенных по известным алгоритмам CART и C4.5, построение дерева осуществляется до тех пор, пока не будут обработаны все элементы подвыборки и без применения процедуры отсечения ветвей. Алгоритм построения деревьев решений выполняется столько раз, сколько необходимо для того, чтобы минимизировать ошибку классификации объектов из тестовой выборки. Классификация объектов производится путём голосования по аналогии с базовой версией алгоритма Random Forest.

Для преобразования построенного ансамбля деревьев решений в форматы расширенного ЯПЗ используются сервисные объекты, включая: основной объект, содержащий в качестве атрибутов все пространство признаков; специальный служебный объект – счетчик, предназначенный для отсчета времени с момента начала; специальный служебный объект – счетчик голосов, обеспечивающий подсчет голосов деревьев. На первом шаге преобразования ансамбля деревьев решений каждая внутренняя вершина преобразуется в два объекта типа интервал. Условием возникновения первого интервала является случай, когда текущий такт, фиксируемый счётчиком, совпадает с временной меткой в вершине, а также значение атрибута, соответствующего признаку та, на основе которого производится разделение в вершине дерева, меньше некоторого значения, записанного в вершине. Аналогично, условием возникновения второго интервала является случай, когда указанное значение атрибута не меньше значения, записанного в вершине. Таким образом, каждая листовая вершина преобразуется в правило следующего вида: если длительность всех интервалов, соответствующих вершинам на пути от корня к текущему листу, больше нуля, то значение счётчика голосов за класс, который соответствует данной вершине, увеличивается.

Результатом выполнения указанных шагов является построение фрагмента поля знаний в терминах расширенного ЯПЗ [Рыбина и др, 2014] [Rybina и др, 2014]. Что касается проблем объединения фрагментов поля знаний содержащих темпоральные сущности, полученные из ЕЯ-диалогов, то здесь используются базовые методы распределенного КМПЗ, детально описанные в [Рыбина, 2014], адаптация и программное исследование которых производится в настоящее время.

## **4 Заключение**

Эффективность работы описанного выше алгоритма приобретения темпоральных знаний из БД оценивалась на фрагментах БД по сердечным заболеваниям. Для работы были использованы фрагменты двух БД, содержащих результаты клинических испытаний - The Clinical Diagnosis

Meaning of MIF in Coronary Heart Disease [Ji и др, 2015] и Heart Disease Data Set [Detrano и др, 1989]. Объем контрольных выборок, полученных из каждого фрагмента БД, составил от 1500 до 2000 записей.

Анализ экспериментальных данных, полученных при создании ряда прототипов динамических ИЭС, например [Рыбина и др, 2015b], показал, что применение распределенного варианта КМПЗ, в котором темпоральные БД использовались в качестве дополнительных источников знаний, способно пополнить объем разрабатываемых БЗ на 12-25%. При этом в среднем все разрабатываемые БЗ при использовании БД в качестве дополнительного источника знаний были пополнены на 15%.

### Список литературы

- [Рыбина, 2008] Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. Монография. М.: Научтехлитиздат. 2008. 482 с.
- [Aggarwal и др, 2012] Aggarwal C. C., Zhai C. Mining Text Data. — Springer, 2012. – 535 p.
- [Рыбина и др, 2015a] Рыбина Г.В., Даниякин И.Д. Особенности приобретения темпоральных знаний в динамических интегрированных экспертных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2015. №8. С.3-14
- [Заболеева-Зотова и др, 2015] Заболеева-Зотова А.В., Дмитриев А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л. Processing of Spatial and Temporal Information in the Text // World Applied Sciences Journal (WASJ). - 2013. - Vol. 24, Spec. Issue 24 : Information Technologies in Modern Industry, Education & Society.
- [Pan, 2007] Pan E. Learning Temporal Information from Text / Encyclopedia of Data Warehousing and Mining, Second Edition, Montclair State University, USA, 2009. – P. 1146-1149.
- [Schilder, 1997] Schilder F. Temporal Relations in English and German Narrative Discourse. University of Edinburgh. College of Science and Engineering. School of Informatics. 1997. - 216 p.
- [Yoshikawa и др, 2009] Yoshikawa K., Riedel S., Asahara M., Y. Matsumoto Y. Jointly Identifying Temporal Relations with Markov Logic // In Proceedings of the Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP. Suntec, Singapore. 2009. - P. 405-413.
- [Kaufmann и др, 2013] Kaufmann M., Manjili A., Vagenas P., Fischer P., Kossmann D., Faerber F., May N. Timeline Index: A Unified Data Structure for Processing Queries on Temporal Data in SAP HANA. In: SIGMOD, 2013.
- [Wan и др, 2013] Wan Ishak, Wan Hussain and Ku-Mahamud, Ku Ruhana and Md Norwawi, Norita (2011) Mining temporal reservoir data using sliding window technique. CiiT International Journal of Data Mining and Knowledge Engineering, 3 (8). pp. 473-478.
- [Tzacheva и др, 2013] Tzacheva, A.A., Bagavathi, A., and Ganesan, P. D., “MR - Random Forest Algorithm for Distributed Action Rules Discovery”, in International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDMP), 2016, Vol. 6, No. 5., pp.15-30.
- [Рыбина, 2014] Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах. Книга 1. Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы. – М.: Научтехлитиздат, 2014. – 224 с.

- [Рыбина и др, 2010] Рыбина Г.В., Дейнеко А.О. Распределенное приобретение знаний для автоматизированного построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. №4. – 2010. с. 55-62.
- [Rybina и др, 2013] Rybina G.V., Deineko A.O. On a Common Approach to Joining Productive Rules Obtained from Different Knowledge Sources // Scientific and Technical Information Processing, 2013, Vol. 40, No. 5, pp. 1–6.
- [Рыбина и др, 2014] Рыбина Г.В., Мозгачев А.В. Реализация темпорального вывода в динамических интегрированных экспертных системах // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. №1. с. 34-45.
- [Rybina и др, 2014] Rybina, G.V., Mozgachev A.V. The Use of Temporal Inferences in Dynamic Integrated Expert Systems // Scientific and Technical Information Processing, 2014, Vol. 41, No. 6, pp. 390–399.
- [Allen, 2013] Allen J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the Association for Computing Machinery. 1983. Vol. 22. p. 832-843.
- [Осипов, 2008] Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. №1. с. 47-54
- [Ji и др, 2015] Ji K, Wang X, Li J, Lu Q, Wang G, Xue Y, Zhang S, Qian L, Wu W, Zhu Y, Wang L, Liao L, Tang J. Macrophage migration inhibitory factor polymorphism is associated with susceptibility to inflammatory coronary heart disease. Biomed Res Int. 2015;2015:315174. doi: 10.1155/2015/315174. Epub 2015 Mar 4.
- [Detrano и др, 1989] Detrano, R., Janosi, A., Steinbrunn, W., Pfisterer, M., Schmid, J., Sandhu, S., Guppy, K., Lee, S., & Froelicher, V. (1989). International application of a new probability algorithm for the diagnosis of coronary artery disease. American Journal of Cardiology, 64, 304-310.
- [Рыбина и др, 2015b] Рыбина Г. В., Блохин Ю. М., Шилкин И. П. Особенности прототипирования динамических интегрированных экспертных систем с использованием интеллектуального планировщика комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-технической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. Т.2. – М.: Физматлит, 2015. – сс 677-683.

## SOME ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF TEMPORAL VERSION OF THE COMBINED KNOWLEDGE ACQUISITION METHOD FOR AUTOMATED KNOWLEDGE BASE CONSTRUCTION IN DYNAMIC INTEGRATED EXPERT SYSTEMS

Rybina G.V. (*galina@ailab.mephi.ru*)  
Danyakin I.D. (*galina@ailab.mephi.ru*)  
MEPhI National Research Nuclear University, Moscow

We address the problems of the automated temporal knowledge acquisition for development of knowledge bases in dynamic intelligent systems development based on

the problem-oriented methodology and AT-TECHNOLOGY workbench. We present the features of the temporal version of combined knowledge acquisition method.

**Keywords:** intelligent systems; integrated expert systems; problem-oriented methodology; temporal knowledge acquisition; temporal DB; natural language processing; combined knowledge acquisition method; AT-TECHNOLOGY workbench.

## О СПОСОБЕ ВЕКТОРИЗАЦИИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ СЛОВОФОРМЫ

Бручес Е.П. (*bruches@bk.ru*)  
OnPositive, Новосибирск

Крайванова В.А. (*krayvanova@yandex.ru*)  
Алтайский Государственный Технический  
Университет, Барнаул

Основная цель данной работы - разработать бессловарный подход морфологического анализа. Предлагаемый нами подход заключается в кодировании грамматической информации, содержащейся в словаре, в весах нейронной сети. Это позволяет получать вектор заданной длины для любой словоформы, в том числе и для неизвестной, который содержит в себе полную морфологическую информацию о данной словоформе. Также данный подход позволяет проводить морфологический анализ при любом наборе грамматических тегов.

**Ключевые слова:** морфологический анализ, векторное представление слов, автоматическая обработка текстов.

### 1 Введение

Задача морфологического анализа является необходимой основой большинства современных алгоритмов обработки текстов на естественном языке, весьма критичной для качества работы всего стека технологий в целом. Как правило, она решается с помощью специальных словарей. В настоящее время задача морфологического анализа осложняется несколькими факторами, из которых наиболее критичными для практического применения являются следующие.

1. Сложность получения грамматической информации для неизвестных слов в контексте использования словарного подхода.
2. Отсутствие единого набора морфологических тегов. Так, в статье [Sorokin et al., 2017] утверждается, что наборы тегов не конвертируемы без потери информации. Это делает невозможным замену уровня морфологического анализа, что существенно снижает универсальность и возможности развития алгоритмов



анализа текстов в целом, а также не дает сравнивать существующие решения без сложных таблиц взаимного соответствия тегов.

В этой статье мы описываем бессловарный подход для получения по словоформе ее полной грамматической информации (включая все омонимичные словоформы) в скрытой форме путём кодирования информации из словаря в весах нейронной сети. Получаемый при обучении вектор весов способен распознавать морфологическую информацию не только для словоформ, имевшихся в словаре (обучающей выборке), но и для неизвестных словоформ. Кроме того, к данному вектору можно добавить и дообучить выходной слой нейронной сети, который будет формировать необходимый набор тегов. В качестве демонстрации этой возможности в нашей работе бессловарный морфологический анализатор, обученный на OpenCorpora [Открытый корпус], используется в задаче снятия частеречной омонимии, где обучающая выборка формируется на основе НКРЯ [НКРЯ].

В результате проделанной работы мы выложили в открытый доступ:

- веса, с помощью которых можно получить векторные представления;
- набор словоформ с уже готовыми весами.

## **2 Обзор литературы**

Одним из наиболее известных ресурсов получения грамматической информации о слове является “Грамматический словарь русского языка” А.А. Зализняка [Зализняк, 1980]. Словари всех русскоязычных коммерческих автокорректоров (в том числе, ОРФО, Word), словари практически всех экспериментальных и коммерческих систем машинного перевода и других систем автоматической обработки текстов строятся на основе словаря Зализняка. При этом изначально словарь был ориентирован на человека, в связи с чем возникают трудности при его использовании в различных задачах компьютерной лингвистики [Мальковский и др., 2000]. Кроме того, в статье [Захаров, 2002] отмечается, что первоисточник и электронные версии словаря содержат опечатки, которые являются несущественными для человека, но играют большую роль при попытке автоматизации.

В случае бессловарного морфологического анализа используются хранимые парадигмы словоизменения, что позволяет получить информацию практически для любого слова, если его парадигма изменения хранится в данной системе [Большакова и др., 2011].

В последнее время становятся популярными бессловарные методы морфологического анализа, основанные на применении машинного обучения. В статье [Wang et al., 2015] описывается использование

bidirectional LSTM, которая используется для чтения последовательности символов, которые составляют каждое слово, и объединения их в векторное представление слова. Полученный вектор содержит морфологическую информацию о данном слове. В работе [Labeau et al., 2017] предлагается модель, которая представляет собой конкатенацию двух типов векторного представления слов: представление на уровне слов и представление на уровне символов. Векторные представления на уровне символов рассчитываются с помощью свёрточной нейронной сети. Способность модели строить векторные представления для неизвестных слов тестировалась на задаче машинного перевода. В статье [Ming-Thang et al., 2016] описывается гибридный нейронный машинный перевод, который осуществляется на уровне слов, но для редких токенов строится векторное представление на уровне символов.

### **3 Получение векторных представлений для морфологической информации слов**

Предлагаемый алгоритм получает на вход символьное представление словоформы, которое кодируется во входной вектор нейронной сети. Выходом нейронной сети является вектор грамем данной словоформы. Результатом обучения являются веса внутреннего слоя нейронной сети, и их выходные значения, которые представляют собой векторизованную морфологическую информацию словоформы.

Для формирования входного вектора мы собрали алфавит символов  $C$ , который содержит в себе все строчные буквы русского алфавита, а также апостроф и дефис. Входное слово  $w$  переводится в нижний регистр и представляется как последовательность символов  $c_1, \dots, c_m, \dots, c_d$ , где  $m$  - длина слова  $w$ ,  $d$  - максимальная длина слова  $w_{long}$ , входящего в словарь  $W$ , и  $m \leq d$ . Каждый  $c_i$  определяется как one hot вектор с единицей в той позиции, номер которой равен индексу  $c_i$  в алфавите  $C$ . Если символ отсутствует в алфавите  $C$ , то соответствующий вектор символа состоит из нулей. Таким образом, входное слово представляет собой вектор размером  $d * |C|$ .

Так как искомым векторное представление является выходом внутреннего, а не выходного слоя, архитектура сети не привязана к конкретному набору грамем. Без потери общности, в качестве такого набора в нашей реализации будем использовать часть грамем проекта OpenCorpora. Мы закодировали следующие грамматические категории: часть речи, падеж, число, род, лицо, время и наклонение. Всего получилось 1797 различных комбинаций грамем, которые встречаются у словоформ в словаре. На выходе нейронной сети - распределение вероятностей принадлежности словоформы к одному из 1797 классов, то есть определение полного набора её грамматических признаков.

Размер вектора для каждого слова равен  $z$ , где  $z$  - количество нейронов на скрытом слое. В нашей реализации  $z = 100$ .

Архитектура нейронной сети представлена на рис. 1. Элементами вектора являются значения выхода слоя `batch_normalization_2`. В качестве оптимизатора был выбран алгоритм Adam [Kingma et al., 2014], размер обучающего шага - 0.005.

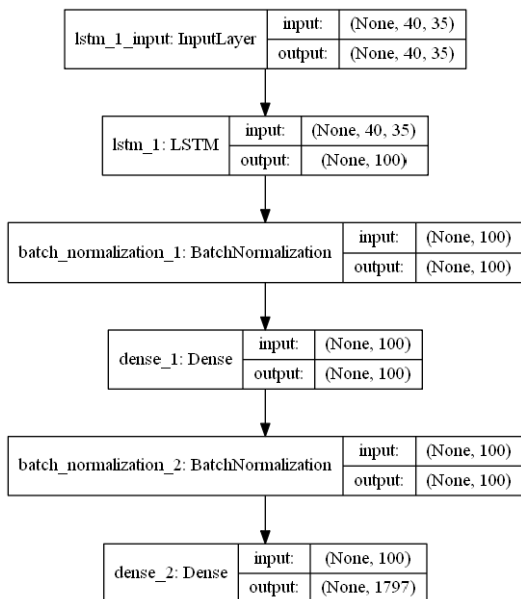


Рисунок 1 – Архитектура нейронной сети для определения грамматических тегов

Обучающая и тестовая выборки были сформированы на основе словаря OpenCorpora. Размер всего словаря составил 3036610 словоформ, из которых 2,5 млн использовались для обучения нейронной сети, а 500 тыс - для валидации. После обучения точность определения класса словоформы составила 0,91. При этом, точность определения отдельной граммемы для словоформы составляет 0,96.

Следует подчеркнуть, что описанная выше нейронная сеть представляет реализацию таггера, то есть не решает задачу разрешения омонимии для словоформ с одинаковым написанием.

Таким образом, мы получили механизм генерации элементов таблицы поиска (look-up table) L. Полученные с помощью данной таблицы поиска векторные представления слов отражают их морфологические особенности и могут быть использованы в различных задачах автоматической обработки текстов, в том числе и в качестве входных векторов для других нейронных

сетей. Для проведения эксперимента мы использовали полученные вектора в задаче однозначного определения частеречной принадлежности слова.

#### **4 Эксперимент: однозначное определение частеречной принадлежности слова**

Предложенная модель для определения частеречной принадлежности слова является довольно простой и призвана продемонстрировать возможность практического применения полученных нами векторных представлений слов.

Входными данными для нашей модели являются последовательности вида  $\{w_{t-2}, w_{t-1}, w_t, w_{t+1}, w_{t+2}\}$ , где  $w_t$  - словоформа, для которой требуется определить часть речи,  $w_{t-2}, w_{t-1}, w_{t+1}, w_{t+2}$  - словоформы на соответствующих позициях относительно словоформы  $w_t$ . Каждая словоформа  $w$  представлена вектором, включающем в себя соответствующий вектор из таблицы поиска  $L$  размером  $z$  и дополнительно три позиции, в которых заключена информация о том, является ли данная словоформа числом, пунктуационным знаком и начинается ли с заглавной буквы. Выходом нейронной сети является часть речи словоформы  $w_t$ .

Для этой задачи мы использовали размеченный корпус со снятой омонимии НКРЯ, размер которого составляет 1051662 словоформ, из которых 420735 имеют частеречную омонимию и 29951 являются неизвестными для нашей модели, то есть не входили в состав словаря, использовавшегося для получения векторных представлений. Набор частей речи взят из стандарта разметки Universal Dependencies 2.0 [Universal Dependencies] и включает в себя 14 частеречных тэгов. Для сравнения, при получении векторных представлений количество частей речи было равно 17, что показывает возможность использования данных векторов для различных наборов морфологических тэгов.

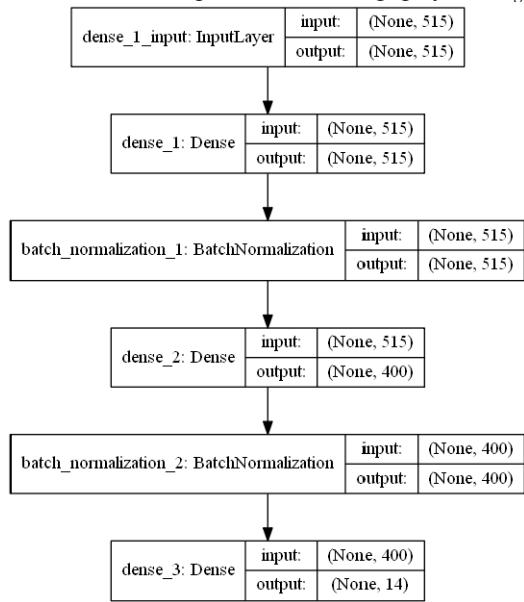
Использовалась архитектура нейронной сети, представленная на рис. 2. В качестве оптимизатора был выбран стохастический градиентный спуск, размер обучающего шага - 0.01.

Размер тренировочного набора составил 950 тысяч словоформ. Тестирование проводилось на 100 тысячах словоформ, из которых 45108 имеют частеречную неоднозначность, 2810 являются неизвестными.

Для демонстрации результатов мы рассчитали следующие показатели.

Точность определения части речи для словоформы рассчитывалась по формуле  $W_{right} / W_{total}$ , где  $W_{right}$  - количество словоформ, для которых часть речи была определена правильно,  $W_{total}$  - общее количество словоформ в тестовом наборе. Данный показатель составил 0.94.

Точность определения части речи для словоформы, имеющей частеречную омонимию мы рассчитали по формуле  $W_{rightAmbig} / W_{totalAmbig}$ ,



где  $W_{rightAmbig}$  - количество словоформ, имеющих частеречную неоднозначность, для которых часть речи была определена правильно,  $W_{totalAmbig}$  - общее количество словоформ, имеющих частеречную неоднозначность. Этот показатель составил 0.91.

Рисунок 2 – Архитектура сети для определения частеречной принадлежности слова

Также мы рассчитали точность определения части речи для неизвестного слова по формуле  $W_{rightUnknown} / W_{totalUnknown}$ , где  $W_{rightUnknown}$  - количество неизвестных словоформ, для которых часть речь была определена правильно,  $W_{totalUnknown}$  - общее количество неизвестных словоформ. Данный показатель составил 0.95.

Для сравнения приведём результаты нескольких морфологических анализаторов, а именно: PyMorphy, FreeLing и TreeTagger, анализ работы которых подробно описан в работе [Kuzmenko, 2017]. Метрика Метрика для сравнения использовалась та же, что и для расчета точности определения части речи для словоформы в настоящей работе. Данные анализаторы тестировались на НКРЯ, их результаты для задачи определения частеречного тэга представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение анализаторов

Анализатор	Точность
PyMorphy	0.907
FreeLing	0.915
TreeTagger	0.952
Our Approach	0.943

## 5 Заключение

В результате работы мы получили веса нейронной сети, содержащие в себе всю морфологическую информацию словоформ для русского языка. Скачать веса и набор словоформ с их векторными представлениями можно на нашем сайте <http://176.9.34.20:8080/scratch/>. Также мы продемонстрировали, что использование полученных векторов эффективно в задачи разрешения частеречной омонимии и может быть полезно в других задачах автоматической обработки текста, требующих грамматическую информацию о слове.

## Список литературы

[Большакова и др., 2011] Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учеб. пособие / — М.: МИЭМ, 2011. 272 с.

[Зализняк, 1980] Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка. М.: Русский язык, 1980.

[Захаров, 2002] Захаров Л.М. Словарь для автоматического синтеза речи // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды международной конференции «Диалог-2002». – М.:Наука, 2005.

[Мальковский и др., 2000] Мальковский М.Г., Грацианова Т.Ю., Полякова И.Н. Прикладное программное обеспечение: системы автоматической обработки текстов - М.: Издательский отдел ф-та ВМиК МГУ, 2000. - 52 с.

[НКРЯ] Национальный Корпус Русского Языка [Электронный ресурс], URL: <http://www.ruscorpora.ru/index.html> (дата обращения: 3.09.2017).

[Открытый корпус] Проект “Открытый корпус” [Электронный ресурс], URL: <http://opencorpora.org/> (дата обращения: 3.09.2017).

[Kingma et al., 2014] Kingma D. and Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization // arXiv:1412.6980 [cs.LG], December 2014.

[Kuzmenko, 2017] Kuzmenko E. Morphological Analysis for Russian: Integration and Comparison of Taggers // Ignatov D. et al. (eds) Analysis of Images, Social Networks and Texts. AIST 2016. Communications in Computer and Information Science, vol 661. Springer, Cham.

[Labeau et al., 2017] Labeau M., Allauzen A. Opening the vocabulary of neural language models with character-level word representations. *Under review as a conference paper at ICLR 2017.*

[Ming-Thang et al., 2016] Minh-Thang L. and Manning Ch. Achieving Open Vocabulary Neural Machine Translation with Hybrid Word-Character Models. // CoRR abs/1604.00788. 2016.

[Sorokin et al., 2017] Sorokin A., Shavrina T., Lyashevskaya O., Bocharov V., Alexeeva S., Droганova K., Fenogenova A., Granovsky D. MorphoruEval-2017: an Evaluation track for the automatic Morphological analysis methods for Russian // Proceedings of the International Conference “Dialogue 2017”. Moscow. 2017.

[Universal Dependencies] Universal Dependencies [Электронный ресурс], URL: <http://universaldependencies.org/> (дата обращения 3.09.2017).

[Wang et al., 2015] Wang L. et al. Finding Function in Form: Compositional Character Models for Open Vocabulary Word Representation // Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2015.

## ABOUT A METHOD FOR VECTORIZING MORPHOLOGICAL INFORMATION OF A WORDFORM

Bruches E.P. (*bruches@bk.ru*)

OnPositive, Novosibirsk

Krayvanova V.A. (*krayvanova@yandex.ru*)

Altay State Technical University, Barnaul

In this paper we propose a dictionary-independent approach to morphological analysis. We suggest to encode grammatical information about wordforms from a dictionary into a fixed-length vector representation using neural networks. This way allows to get a vector for any wordform, including unknown one, which contains a full morphological information about this wordform. Moreover, this approach allows to perform morphological analysis for any grammatical tagsets.

**Keywords:** morphological analysis, word embeddings, NLP.

## РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА С КОНТЕНТОМ В ФОРМАТЕ ОНТОЛОГИЙ

Степанов И.С. (*step\_il@mail.ru*),  
Хабаров В.И.

Сибирский государственный университет путей  
сообщения, Новосибирск.

Потребность в мультиязычном обучающем комплексе обусловлена отсутствием стандартизации знаний, а также большим количеством всевозможных интерпретаций, которые нередко противоречат друг другу. Интернационализация транспорта и развитие международной кооперации ставят задачу создания единого понятийного аппарата у всех специалистов отрасли. Для реализации обучающего комплекса необходимо разработать современную онлайн платформу, которая позволит специалистам работать в единой среде.

**Ключевые слова:** онтология, OWL, мультиязычность, инженерия знаний, тезаурус, обучение.

### 1 Введение

Несмотря на то, что знания осознаются как важный стратегический ресурс обеспечения конкурентных преимуществ хозяйственными субъектами отраслей российской экономики, на практике возможности технологий управления знаниями используются не в полной мере.

Понятие интеллектуального капитала не в полной мере осознается и используется. Знания, навыки и практический опыт конкретных людей нуждаются в переводе в удобную для восприятия и работы с ними стандартизированную форму. Данный подход позволит исключить вольные трактования и противоречия между ними, а также выделить наиболее объективные знания.

Для работы с большими объемами информации необходим формат пригодный для машинной обработки, в то же время он должен легко восприниматься человеком, поскольку и источником знаний, и конечным пользователем является человек. Таковым форматом является OWL – Web Ontology Language – язык онтологии для интернета на основе XML/Web стандарта, а также всевозможные его подвиды. Данный формат позволяет



хранить знания и интерпретировать их в виде удобном для восприятия человеком [Khun, 2010].

## **2 Постановка задачи**

Таким образом, для реализации мультязычного обучающего комплекса необходимо разработать платформу, позволяющую формировать онтологическое описание предметной области, транслировать его в OWL и представлять данное описание пользователю.

Задачу можно разделить на 3 части:

- разработка редактора онтологий;
- разработка ресурса, представляющего онтологии в удобном формате;
- разработка технологии экспорта онтологии для возможности работы в других редакторах.

### **2.2 Требования к прототипу**

Проведя анализ существующих решений в области программного обеспечения для работы с онтологиями, были сформулированы следующие требования к прототипу:

- 1) редактор должен быть реализован на web-платформе и поддерживать стандарты семантического веба;
- 2) редактор должен быть многопользовательским и обеспечивать синхронную работу нескольких пользователей в рамках одной онтологии;
- 3) в рамках редактора должен быть сформирован ограниченный, близкий к естественному языку, управляемый язык описания онтологии;
- 4) редактор должен обладать интуитивно понятным интерфейсом, содержать «интеллектуальные подсказки» для пользователя - графическая разметка текста и фреймовое представление онтологий;
- 5) редактор должен быть мультязычным и содержать соответствующие операторы языка;
- 6) в рамках редактора должна быть реализована возможность экспорта и импорта онтологий в стандартных форматах описания (OWL, RDF);
- 7) навигация между фреймами должна осуществляться путем перехода по гиперссылкам из общей таксономии, либо из описания фрейма;
- 8) редактор должен содержать средство просмотра онтологий;
- 9) в режиме просмотра должен быть представлен мультимедийный контент.

### **2.3 Требования, предъявляемые к языку описания онтологий**

К числу основных требований к онтологическим языкам (ОЯ) [Тузовский и др., 2005] относят следующие:

- ОЯ должен иметь четко определенный синтаксис, что делает его машиночитаемым;
- ОЯ должен быть эпистимологически адекватным, то есть быть способным выразить все понятия и отношения в любом заданном домене;
- ОЯ должен обладать достаточной выразительной силой, чтобы быть пригодным для описания множества предметных областей;
- ОЯ должен обладать строгостью кодирования для однозначной машинной интерпретации понятий, связей, аксиом и иных знаниевых сущностей.

Данный перечень можно дополнить, исходя из целей разработки конкретного языка:

- Синтаксис языка должен базироваться на синтаксисе естественного языка, чтобы не вызывать дискомфорта при чтении у пользователя;
- ОЯ должен иметь 2 вида представления, первое - для редактора с явным определением и выделением конструкций языка, второе - для чтения пользователем, очищенные от служебных конструкций, сохраняющее только синтаксис естественного языка;
- ОЯ должен содержать массив служебных отношений для интерпретации их системой, которые служат для корректного отображения контента.

### **3 Реализация языка описания онтологий**

Любой язык состоит из набора понятий и связей между ними. Для удобства восприятия, а также в целях соответствия современным стандартам представления знаний [W3C Консорциум, 2004], все понятия были разделены на 3 базовых класса:

- объект - сущность, содержащая информацию о понятии, как минимум название и идентификатор;
- отношение - сущность, отвечающая за связь между понятиями. В OWL данный класс представлен как `ObjectProperty`;
- свойство - сущность, отвечающая за связь между понятиями и их характеристиками. В OWL данный класс представлен как `DataProperty`.

Стоит отметить, что отношение и свойство являются подклассами объекта, но, чтобы не усложнять структуру онтологии, они были вынесены в отдельные иерархии. В общем случае каждый из классов

имеет свои отношения и свойства, как минимум родовидовые отношения и лингвистические свойства.

В основе языка лежит триплетная запись (рис.1).

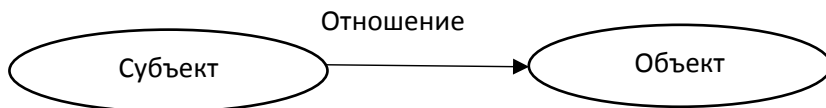


Рисунок 1 – Структура триплетной записи

Но важно учитывать, что, несмотря на изначальную простоту данной структуры, с помощью неё можно выстраивать довольно сложные языковые конструкции. Благодаря тому, что в качестве субъектов и объектов могут выступать не только понятия, но и сами триплеты, и вложенность эта ограничивается только возможностями человеческого восприятия и, возможно, вычислительными затратами. Наиболее распространенным применением данной конструкции является запись правил, где в качестве отношения выступает причин следственная связь, а в качестве субъекта и объекта – триплет, содержащий условие выполнения правила и триплет, содержащий следствие его выполнения, соответственно (рис. 2).

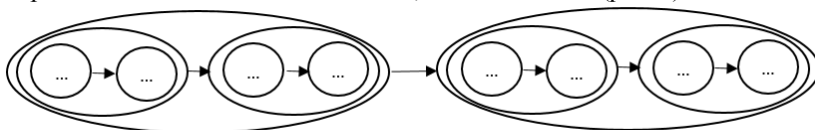


Рисунок 2 – Структура вложенности триплетных записей

### 3.2 Базовые классы отношений

При реализации онтологий ключевую роль играют родовидовые отношения между понятиями. В большинстве языков описания онтологий для данного отношения выделяют специальные языковые конструкции. В контролируемом английском языке, например, для выражения вида «Every <C> is a <D>» в OWL используется стандартное отношение SubClassOf. Но ввод ограничений на формат записи родовидового отношения существенно снижает выразительность языка описания предметной области, кроме того, данный подход требует ввода этого отношения для каждого из языков представления (русский, китайский, английский).

Для рассматриваемого языка выработан следующий подход: для выделенных отношений вводится не служебная конструкция языка, а отдельный класс, который содержит все отношения, содержащие в себе родовидовую семантику или семантику отношения часть-целое, а также обратные им.

Таким образом, при работе с данным языком нет ограничений в выразительных средствах при вводе базовых отношений, возможно

использование любых синонимов при условии, что они унаследуют семантику заданного родительского класса.

Список наиболее значимых с точки зрения построения онтологий отношений представлен в Приложении 3 к книге «Морфологический анализ систем» [Одрин, 1977].

На данный момент среди базовых выделены следующие отношения:

- класс – подкласс;
- подкласс – класс;
- часть – целое;
- целое – часть;
- причина – следствие;
- следствие – причина.

Данный перечень является расширяемым в зависимости от предметной области, возможно введение новых классов отношений. Для этого необходимо задать класс и описать правила обработки его элементов.

### 3.3 Синтаксис языка

В рамках разработки синтаксиса онтологического языка, основными задачами являются идентификация объектов, отношений и субъектов, а также четкое структурное разграничение записей.

Определённую сложность представляют объекты, имена которых являются составными, поскольку в этом случае мы не можем использовать пробел в качестве разделителя между понятиями.

В разрабатываемом контролируемом естественном языке, также введены дополнительные разделители, принцип их организации взят из языков программирования, для разделения понятий используется табуляция, каждое следующее понятие начинается с новой строки и имеет больший отступ от начала строки, чем следующее, за исключением перечислений субъектов.

Пример записи триплета с составными понятиями в разрабатываемом языке:

*Company 1*

*has common name=*

*Tommy's Pizza and Subs.*

Порядок записи строго определён: <объект> | <отношение><тип> | <субъект>.

Для определения типа используются следующие символы:

« : » - для обозначения отношения между объектами (object property), в этом случае субъектом выступает понятие;

« = » - для задания значений свойствам объекта (data property), в этом случае субъектом выступают числовые или текстовые данные.

В представлении онтологии, которое используется для чтения, символы, идентифицирующие тип отношения, не отображаются, для того, чтобы не затруднять чтение конструкциями не типичными для естественного языка.

Каждый новый триплет записывается с новой строки, в его конце ставится точка. Так каждый триплет является отдельным предложением.

Для реализации поддержки дескриптивной логики необходимо ввести в язык служебные конструкции, влияющие на семантику понятий. Данные конструкции должны быть строго формализованны в языке и учтены в алгоритмах трансляции [Kaplanski, 2011].

Данные конструкции можно разделить на две группы. Первая группа отвечает за реализацию дескриптивной логики (OWL-DL и OWL-EL). Вторая группа отвечает за реализацию безопасных правил (Safe rule) [Motik, 2005].

## **4 Реализация web-платформы**

За основу для разработки редактора онтологий была взята программная платформа Node.js. Для реализации многопользовательского, одностраничного, реактивного приложения был использован свободный fullstack Framework Meteor, который включает в себя следующие технологии: Express.JS, MongoDB и DDP.

Meteor поддерживает синтаксис нового стандарта языка ES2015, где компиляция осуществляется с помощью модуля Babel. Развертывание приложения происходит за счет встроенных команд Meteor, аналогичных таким компонентам как Grunt, Gulp, Webpack, Browserify, Nodemon. Также в Meteor предусмотрен менеджер пакетов, аналогичный NPM – Atmosphere. Для контроля версий использован Git репозиторий.

### **4.2 Хранение данных**

Фреймовая модель основана на концепции Марвина Мински – профессора Массачусетского технологического института, основателя лаборатории искусственного интеллекта, автора ряда фундаментальных работ [Minsky, 1975].

Фрейм – структура данных для представления некоторого концептуального объекта. Информация, относящаяся к фрейму, содержится в составляющих его слотах.

Слот может быть терминальным (листом иерархии) или представлять собой фрейм нижнего уровня.

Каждый фрейм, как показано на рисунке 3, состоит из произвольного числа слотов, причем несколько из них обычно определяются самой системой для выполнения специфических функций, а остальные определяются пользователем.

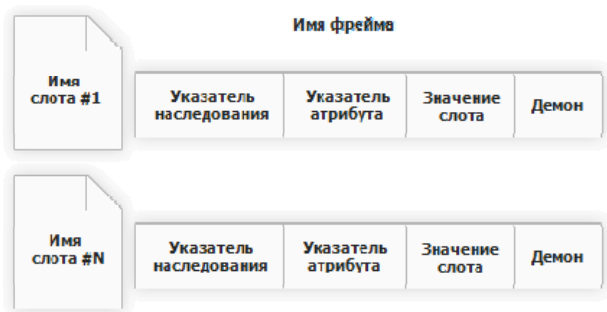


Рисунок 3 – Структура фрейма

Пример фреймовой модели иерархического типа представлен на рисунке 4.

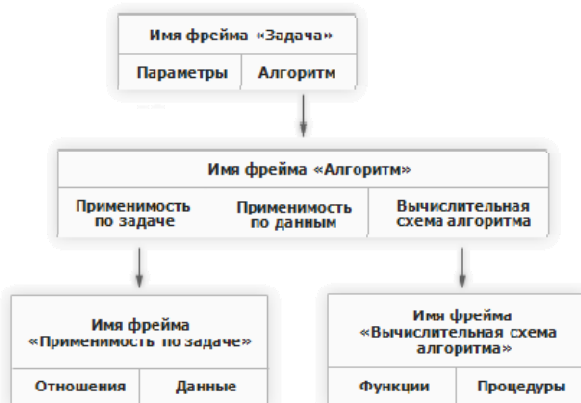


Рисунок 4 – Фреймовая модель иерархического типа

### 4.3 Реализация пользовательских интерфейсов

В рамках реализации образовательного комплекса предусмотрено представление информации в двух форматах: формат повествования, представленный на рисунке 5, и формат тезауруса, представленный на рисунке 6.

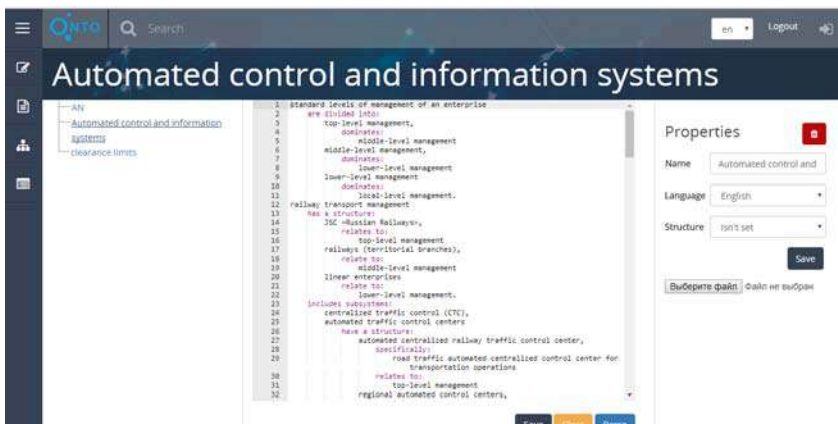


Рисунок 5 – Интерфейс редактора онтологий на ограниченном естественном языке

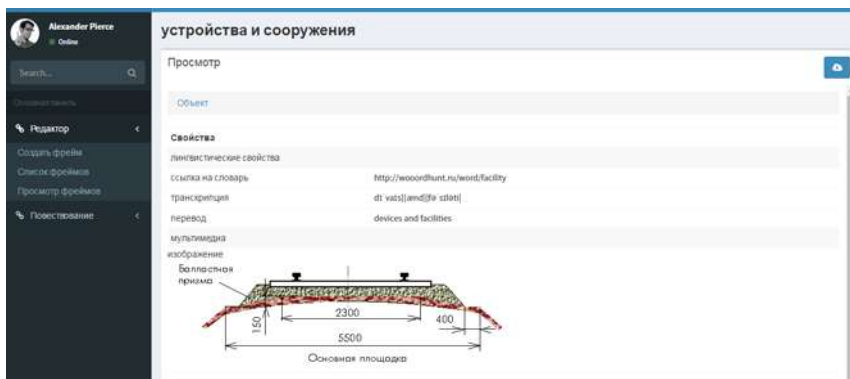


Рисунок 6 – Представление фрейма в формате тезауруса

## 5 Выводы

В рамках задачи по созданию образовательного проекта были выполнены следующие решения:

- сформированы алгоритмы работы программы;
- спроектирован и реализован пользовательский интерфейс редактора онтологий;
- составлен первичный список операторов, позволяющих реализовать интерфейс на ограниченном естественном языке;
- сформирован синтаксис языка ввода данных;
- реализован транслятор с ограниченного естественного языка в формат онтологий;

- реализовано фреймовое представление объектов;
- реализован информационный ресурс, контент которого формируется в формате онтологий на основании фреймовой структуры данных.

Отдельно стоит отметить, что данное программное обеспечение является первым многопользовательским редактором онтологий с web-интерфейсом. Принципы работы, заложенные в данном редакторе, позволяют не зависеть от языка представления данных, а, следовательно, применять его для построения мультязычных онтологий.

В план развития проекта включены следующие пункты:

- реализация возможности описания логических конструкций;
- реализация машины логического вывода в рамках приложения;
- реализация экспертных систем на базе онтологий и машинного вывода;
- расширение возможностей языка описания онтологий;
- реализация симметричных, транзитивных, рефлексивных, антисимметричных, антитранзитивных и антирефлексивных отношений между классами;
- реализация мета знаний, задающих классификацию отношений и объектов;
- реализация инструментов аннотирования;
- доработка приложения по результатам тестирования.

Применение онтологий в образовательном процессе способствует стандартизации знаний, а реализация доступных инструментов для работы с ними для человека без каких-либо специализированных навыков, позволяет расширить аудиторию данных стандартов и повысить качество контента, предлагаемого образовательными ресурсами.

### Список литературы

- [Kuhn, 2010] Tobias Kuhn. Controlled English for Knowledge Representation. Doctoral thesis, Faculty of Economics, Business Administration and Information Technology of the University of Zurich, 2010.
- [Тузовский и др., 2005] Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы Т 817 управления знаниями (методы и технологии) / Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с. 112 с.
- [W3C Консорциум, 2004] W3C Консорциум. Язык Web-онтологий OWL [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.w3.org/2004/OWL/>.
- [Одрин, 1977] Одрин В. М., Картавое С. С. Морфологический анализ систем. Киев: Наук, думка, 1977. 147 с.
- [Kaplanski, 2011] P. Kaplanski, Controlled English interface for Knowledge Bases, 2011. Gdansk University of Technology, Faculty of Electronics,



[**Motik, 2005**]Motik B. Query answering for OWL DL with rules / B. Motik, U. Sattler, R. Studer // Jour-nal of Web Semantic. – 2005. - № 3 (1). – P. 41-60.

[**Minsky, 1975**]Marvin Minsky, A Framework for Representing Knowledge, in: Patrick Henry Winston (ed.), The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill, New York (U.S.A.), 1975.

## **DEVELOPMENT OF THE TRAINING COMPLEX WITH THE CON-TENT IN THE FORMAT OF ONTOLOGIES**

Stepanov I.S. (*step\_il@mail.ru*),

Khabarov V.I.

Siberian Transport University, Novosibirsk

The need for a multilingual learning complex is determined by the absence of knowledge standardization, as well as by the large number of all kinds of interpretations that quite often are in conflict each with other. The transport internationalization and the international cooperation development set the problem of creating a single conceptual framework for all the field specialists. To implement the training complex it is necessary to develop a modern online platform that will give an opportunity to specialists to work in a unified environment.

**Keywords:** ontology, OWL, multilanguage, knowledge engineering, thesaurus, learning.

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ВЫБИРАЕМЫМИ СТРУКТУРАМИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ И ПРЕДПОЧТЕНИЙ<sup>1</sup>

Виноградов Г.П. ([wgp272ng@mail.ru](mailto:wgp272ng@mail.ru))

Тверской государственный технический институт,  
Тверь

Показано, что агент при принятии решений использует три множества альтернатив: управляющие, структурные и идентификации. Это предполагает существование трех виртуальных сторон, осуществляющих выбор соответствующих альтернатив. Правила выбора альтернатив в зависимости от понимания субъектом обстановки и структуры своих интересов формируются путем нахождения компромисса.

**Ключевые слова:** рефлексивное управление, принятие решений, модель, компромисс.

### 1 Введение

Поведение неразрывно связано с принятием решений. В изучении и моделировании процессов формирования решений большое значение имеют понятия целенаправленная и целеустремленная системы. Их интерпретация и смысл, вкладываемый в них, должны быть связаны с явлениями познания, самопознания и самооценки. Интерес к этим понятиям связан с работами по информационному управлению поведением естественных и искусственных существ (далее агентов) в организационных и технических системах [Чхартишвили, 2004, Анохин и др., 2002].

Поведение агентов на основе формальных моделей исследуется в теории агентов, теории принятия решений, поведенческой робототехники, в теории искусственного интеллекта и ряда других направлений.

Известно, что решение интеллектуальный агент принимает на основе модели представлений о ситуации выбора. Она вкладывается разработчиком в символьной форме в модель поведения естественной и искусственной существ. На ее основе агент формирует решение в

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00728).

соответствии с встроенным механизмом рассуждений. Это существенно ограничивает возможности моделирования поведения интеллектуального агента на основе результатов перечисленных направлений, так как, по сути, в этом случае реализуется нормативный подход к принятию решений [Городецкий и др., 2015]. Логика развития проблемы выбора привела к необходимости изучения, как и почему в реальных условиях происходит «отход» субъекта от нормативной рациональности [Канеман и др., 2005], то есть развитие теории принятия решений в настоящее время направлено на решение комплекса проблем, концентрирующихся вокруг феномена субъективного выбора. Однако, не смотря на обилие работ в данном направлении, проблема остается актуальной.

В работе ставится задача исследовать причины несоответствия между фактическим и «оптимальным» выбором. Для этого предлагается формальная схема включения в модель выбора этапов: познания и поведения, связанного с выбором. Предлагаемый в статье подход основан на формализации идей Миллера, Галантера и Прибрама [Миллер и др., 1965] и использует идеи субъективно рационального выбора развитого на основе теории нечетких множеств в работах [Виноградов и др., 2011]. Субъективно рациональный выбор предполагает, что мотивация выбора определяется как внешними, так и внутренними факторами. Внутренние факторы отражают интересы субъекта, индуцируемые его потребностями и этической системой, которой он придерживается. Оценки удовлетворенности текущей ситуацией целеустремленного состояния субъектом, как показано в [Виноградов и др., 2011], могут приводить к изменению структуры интересов субъекта и он ее может выбирать. Поскольку предпочтения субъекта в процессе выбора отражают его интересы, то можно определить множество  $G$  альтернативных вариантов структуры предпочтений, которые согласно [Баранов, 2002] будем называть структурными альтернативами.

Этот подход позволяет моделировать поведение автономной сущности, которая должна не столько реагировать на стимулы, сколько интерпретировать состояние окружения, выявлять возникающие проблемы, которые она должна и пытается разрешить.

## **2 Исходные предположения**

1. Выбор субъектом осуществляется на основе представлений о ситуации целеустремленного состояния [Виноградов и др., 2011].

2. Компоненты представления отражают различные аспекты понимания субъектом ситуации целеустремленного состояния и образуют информационную структуру представлений. Множество возможных вариантов представлений обозначим через  $X$ .

3. Для множества состояний окружения  $S$  множество наблюдаемых состояний окружения удовлетворяют условию  $S \cap X \neq \emptyset$ , то есть представления субъекта могут содержать как объективную составляющую, так и фантомную.

4. Структурные альтернативы субъект выбирает в зависимости от оценок удовлетворенности значениями свойств ситуации целеустремленного состояния.

5. Формирование представлений осуществляется на основе процедур восприятия, осознания и анализа согласно с когнитивными возможностями субъекта.

В соответствии с введенными предположениями субъект при принятии решений использует три множества альтернатив: управляющие  $C$  (способы действия), структурные  $G$  (интересы, предпочтения) и идентификации  $X$ . Следовательно, можно предположить существование трех виртуальных сторон, осуществляющих выбор соответствующих альтернатив. Правила выбора таких альтернатив в зависимости от понимания субъектом обстановки и структуры своих интересов будем называть *стратегиями*.

Пусть принятие решения выполняется в несколько циклических этапов, и способы действия выбираются на каждом этапе  $n = 1, 2, \dots$  из множества  $C$  в зависимости от представления о состоянии окружения  $x \in X$ . Это связано с тем, что совместный надсознательный (интуитивный) и сознательный (формальный) анализы состояния окружения позволяют в многократных итерациях принять сначала смутно осознаваемое, а затем все более четко формулируемое и обоснованное решение. При этом существуют ограничения  $C_x \subseteq C$  на допустимость выбора альтернатив в зависимости от представлений о состоянии окружения  $x \in X$ . Динамика процессов в окружении субъекта недоступна прямому восприятию, поэтому представления о ней формируется путем применения процедур идентификации, суть которых сводится к выбору варианта представлений в зависимости от наблюдаемого состояния и структуры интересов  $g \in G$ . При этом существуют и известны ограничения  $X_s \subseteq X$  на допустимость представлений в качестве альтернатив идентификации в зависимости от наблюдаемых состояний  $s \in S$ . Исходя из этих предположений, следуя [Баранов, 2002], введем определения стратегий.

Однозначное отображение  $\lambda : X \rightarrow C$  такое, что  $\lambda(x) \in C_x$ ,  $x \in X$ , называется функцией выбора или управления; упорядоченный набор  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n) \equiv \lambda_1^n$  – стратегией выбора на горизонте длины  $n < \infty$ ;  $\lim\{\lambda_1^n\} = \lambda_1^{n\infty}$  при  $n \rightarrow \infty$  будем называть стратегией, направленной на достижение локального идеала, определяющего смысл существования субъекта.

Однозначное монотонное отображение  $\xi: S \rightarrow X$  такое, что  $\xi(s) \in X_s, s \in S$ , называется функцией идентификации; упорядоченный набор  $(\xi_1, \dots, \xi_n) \equiv \xi_1^n$  – стратегией идентификации на горизонте длины  $n < \infty$ ; последовательность  $\{\xi_1^n, n = 1, 2, \dots\}$  – стратегией идентификации на ограниченном горизонте. Поскольку субъект стремится к формированию полезных представлений, то существует  $\lim\{\xi_1^n\} = \xi^\infty$  при  $n \rightarrow \infty$ .

Так как множества  $S$  и  $X$  удовлетворяют условию  $|S| > |X|$ , то однозначное отображение  $\xi: S \rightarrow X$  порождает разбиение множества  $S$  на подмножества  $\xi^{-1}(x) = \cup\{s \in S : \xi(s) = x\} \subset S, x \in X$ .

Подмножества  $\xi^{-1}(x) \subset S, x \in X$ , являются связными множествами, то есть любой элемент  $s \in \xi^{-1}(x)$  однозначно определяет соответствующее представление  $x \in X$ . Следовательно, можно говорить, что подмножества  $\xi^{-1}(x) \subset S, x \in X$ , образуют классы эквивалентных представлений. Это позволяет для формализации представлений субъекта использовать методы теории мягких вычислений [Виноградов, 2008].

Выбранная в момент  $n$  структурная альтернатива  $\gamma_n \in G$  является *структурным выбором* на  $n$ -м шаге принятия решений; упорядоченный набор  $(\gamma_n, \dots, \gamma_1) \equiv \gamma_1^n$  – стратегией *структурного выбора* на горизонте принятия решений длины  $n < \infty$ ; последовательность  $\{\gamma_1^n, n = 1, 2, \dots\}$  – стратегией структурного выбора на ограниченном горизонте. Поскольку субъект стремится к соответствию своей структуры интересов требованиям принятой им этической системы, то существует  $\lim\{\gamma_1^n\} = \gamma^\infty$  при  $n \rightarrow \infty$ .

### 3 Модель принятия решений с изменяющейся структурой предпочтений

Согласно [Виноградов и др., 2011] критерий выбора стратегии управления имеет смысл ожидаемой удельной ценности целеустремленного состояния по результату, формализация которой имеет вид функции полезности  $E_{\varphi g}(C \times S \times X)$ , зависящей от структурной альтернативы  $g \in G$  как от параметра. Поскольку процесс управления начинается с некоторой ситуации  $x \in X$ , то критерий  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)$  будет также зависеть и от ситуации  $x \in X$  как от начального условия. Так как при этом множество ситуаций  $X$  конечно, то критерий  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)$  будет окончательно представляться вектором в пространстве  $R^X$  размерности  $|X|$ . Его компоненты будем записывать в виде  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)(x), x \in X$ . По результату выбора субъект испытывает эмоциональное переживание, поэтому качество стратегии структурного выбора  $\gamma_1^n$  следует описывать в виде критерия, имеющего смысл «удовлетворенности результатами выбора». Следовательно, качество стратегии  $\gamma_1^n$  естественно описывать сверткой вектора ожидаемой

полезности  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n) \in R^X$  в некоторый функционал  $\mu : R^X \rightarrow R^1$ . Тогда критерий качества стратегии  $\gamma_1^n$  можно записать в виде  $\mu_n(\lambda_1^n | \gamma_1^n) = \mu(E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)) \in R^1$ .

Качество своих представлений субъект связывает с оценками возможности достижения желаемых состояний от управления  $s \in C$ , а также с возможностью расширения множества  $C \uparrow$  путем включения в него эффективных альтернатив. В работе [Виноградов и др., 2015] в качестве критерия оценки представлений использовать термы лингвистической переменной «*полезность*», которые строятся на значениях  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)$ . При этом оценки полезности будут зависеть от стратегий управления  $\lambda_1^n$ , структурного выбора  $\gamma_1^n$  как от заданных условий. Обозначим критерий «полезность» следующим образом  $\Psi_n(\xi_1^n | \lambda_1^n, \gamma_1^n)$ . Поскольку процесс идентификации начинается с некоторого состояния  $s \in S$ , то этот критерий будет зависеть от состояния  $s \in S$ , задаваемого в качестве начального условия. Так как при этом множество состояний  $S$  конечно, то критерий идентификации будет представляться вектором  $\Psi_n(\xi_1^n | \lambda_1^n, \gamma_1^n)$  в пространстве  $R^S$  размерности  $|S|$ .

В ситуации целеустремленного состояния качество стратегий управления и структурного выбора описывается соответственно критериями  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n) \in R^X$  и  $\mu_n(\lambda_1^n | \gamma_1^n) \in R^1$ , имеющими смысл удельной ценности по результату и удовлетворенности результатами выбора, а качество стратегии идентификации – критерием  $\Psi_n(\xi_1^n | \lambda_1^n, \gamma_1^n) \in R^S$ , имеющим смысл полезности представлений для достижения желаемых состояний. Использование введенных критериев предполагает определение соответствующих информационных структур или моделей, позволяющих выполнить соответствующий выбор.

Будем предполагать существование информационной структуры представлений  $I$ , которая отражает знания и опыт субъекта о: способах действия (управления), своих интересах и предпочтениях, динамике перехода окружения в различные состояния. Тогда можно предположить, что существует структурное преобразование этой структуры в информационную структуру, обеспечивающую возможность построения критерия удельной ценности  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^n)$  и модели предметной области. Такое преобразование будем называть «*преобразованием удельной ценности*», а индуцируемую им информационную структуру будем называть «*информационной структурой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату*» и обозначать  $U = U(I)$ .

Аналогично, если существует структурное преобразование структуры  $I$  в информационную структуру, обеспечивающей возможность построения критерия идентификации  $\Psi_n(\xi_1^n | \lambda_1^n, \gamma_1^n)$  и модели процедур

идентификации, то такое преобразование будем называть «преобразованием идентификации» и обозначать  $R$ , а индуцируемую им информационную структуру будем называть «информационной структурой идентификации» и обозначать  $R = R(I)$ .

Представления субъекта о ситуации целеустремленного состояния является субъективными и качественными, построенными на основе наблюдений и анализа процесса перехода окружения под действием управления  $c \in C$  в различные состояния  $s \in S$ . Обозначим правило такого перехода через  $q^g(S|S \times C)$  из  $S \times C$  в  $S$ . Фактически субъект для оценки ценности возможных результатов использует построенную по результатам стратегии идентификации  $\xi_1^n$  модель  $Q^g(X|X \times C)$  из  $X \times C$  в  $X$ . При ее построении учитываются стратегии управления  $\lambda_1^n$ , структурного выбора  $\gamma_1^n$ , либо такими стратегиями он задается. Это означает, что преобразование фактической функции  $q^g(S|S \times C)$  в функцию понимания субъектом процессов в его окружении  $Q^g(X|X \times Y)$  возможно лишь в апостериорном режиме в зависимости от используемых стратегий  $(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)$ . Такое преобразование и построение критерия ожидаемой удельной ценности  $E_{\varphi_n}(\lambda|\gamma_1^n)$  возможно при последовательном формировании информационных структур «полезности» в зависимости от используемых стратегий. Это условие будем записывать в виде  $U_n = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I), n = 1, 2, \dots$ . Поскольку это условие является необходимым для формирования критерия ожидаемой полезности и модели предметной области, то оно должно указываться всякий раз при его использовании. Отметим, что критерий  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n|\gamma_1^n)$  неявно зависит от стратегии идентификации  $\xi_1^n$  за счет введения в модель выбора индуцированной структуры  $U_n$ . Как было отмечено выше, критерий  $\mu_n(\lambda_1^n|\gamma_1^n) \in R^1$  качества структурного выбора определяется сверткой критерия  $E_{\varphi_n}(\lambda_1^n|\tau_1^n) \in R^X$ . Общность информационной структуры их формирования позволяет записать

$$\begin{cases} E_{\varphi_n}(\lambda_1^n|\xi_1^n) \\ \mu_n(E_{\varphi_n}(\xi_1^n|\lambda_1^n)) \\ U_n = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I) \end{cases}$$

Для построения критерия идентификации требуется использование некоторой функции, которая имела бы смысл «полезности». Для этого надо построить вербальные оценки на значениях функции полезности  $E_{\varphi^g}(S \times X \times Y)$ . Требуемое преобразование существует и может выполняться в априорном режиме (т. е. до выбора решений).

Такое преобразование определяется субъектом относительно нечеткой меры, которая может быть построена, если задана функция  $q^g(S|S \times C)$  из  $S \times C$  в  $S$ . Поскольку ее аналог в сознании субъекта имеет вид  $Q^g(X|X \times$

С) и он может ее однозначно задать в информационной структуре  $I$ , то, следовательно, не требуется дополнительных преобразований. Построение функции «полезности представлений» исчерпывает необходимое структурное преобразование. Такое преобразование будем называть структурным преобразованием «идентификации» и обозначать  $R$ , а индуцируемую им информационную структуру называть информационной структурой «полезности представлений» и обозначать  $R = R(I)$ . С учетом этих соображений критерий идентификации окончательно запишем в виде

$$\begin{cases} \Psi_n(\xi_1^n | \lambda_1^n, \gamma_1^n) \\ R = R(I) \end{cases}$$

Отметим, что критерии качества этих видов стратегий различны и взаимозависимы. Тогда проблема выбора имеет игровое содержание и сводится к отысканию устойчивого компромисса между стремлением к максимизации ожидаемой удельной ценности целеустремленного состояния по результату и минимизации возможных потерь от неправильных представлений. Заметим, что поскольку информационная структура «удельной ценности»  $U_n = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I)$ , в условиях которой строится критерий  $\mu_n(E_{\varphi_n}(\xi_1^n | \lambda_1^n))$ , должна формироваться последовательно в зависимости от используемых стратегий, то искомые равновесия будут взаимозависимы не только на каждом этапе  $n = 1, 2, \dots$  формирования решений, но они будут зависеть также и от решений, выбираемых на предшествующих, шагах. С учетом этого равновесия следует называть *динамическими*.

Тройка стратегий  $\{\lambda_1^{O_n}, \gamma_1^{O_n}, \xi_1^{O_n}\}$ , удовлетворяющих условиям

$$\begin{cases} E_{\varphi_n}(\lambda_1^{O_n} | \gamma_1^{O_n}) \geq E_{\varphi_n}(\lambda_1^n | \gamma_1^{O_n}) \forall \lambda_1^n \\ \mu_n(\gamma_1^{O_n} | \lambda_1^{O_n}) \geq \mu_n(\gamma_1^n | \lambda_1^{O_n}) \forall \gamma_1^n \\ U_n = U(\lambda_1^{O_n}, \gamma_1^{O_n}, \xi_1^{O_n})(I) \end{cases}$$

и

$$\begin{cases} \Psi_n(\xi_1^{O_n} | \gamma_1^{O_n}, \lambda_1^{O_n}) \geq \mu_n(\xi_1^n | \gamma_1^{O_n}, \lambda_1^{O_n}) \forall \xi_1^n, \\ R = R(I), n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

называется *динамическими равновесиями*.

Согласно предположениям количество циклов формирования решения не ограничено. Тогда динамические равновесия должны иметь смысл, в том числе при  $n \rightarrow \infty$ . Для его существования естественно потребовать выполнения следующих дополнительных условий: 1) при  $n \rightarrow \infty$  критерии качества стратегий должны стремиться к некоторым пределам; 2) такие



пределы не должны зависеть от начальных условий. Согласно введенным предположениям критерии качества стационарных стратегий  $\lambda^n, \gamma^n, \xi^n$  при  $n \rightarrow \infty$  имеют пределы, тогда тройка стационарных стратегий  $(\lambda^{0\infty}, \gamma^{0\infty}, \xi^{0\infty})$  называется стационарными равновесиями, если для нее существуют пределы, удовлетворяющие условиям:

$$\begin{cases} \begin{cases} \varphi(\lambda^{0\infty} | \gamma^{0\infty}) \geq \varphi_n(\lambda^\infty | \gamma^{0\infty}), \forall \lambda^\infty \\ \mu(\gamma^{0\infty} | \lambda^{0\infty}) \geq \mu_n(\gamma^\infty | \lambda^{0\infty}), \forall \gamma^\infty \\ U = U(\lambda^\infty, \gamma^\infty, \xi^\infty)(I) \end{cases} \\ \begin{cases} \Psi(\xi^{0\infty} | \lambda^{0\infty}, \gamma^{0\infty}) \geq \Psi(\xi^\infty | \lambda^{0\infty}, \gamma^{0\infty}), \forall \xi^\infty; \\ R = R(I) \end{cases} \end{cases}$$

Таким образом, содержание проблемы моделирования выбора состоит в отыскании компромисса между стремлением к достижению максимальной ожидаемой удельной ценности по результату и минимальных потерь от неверных представлений с учетом их взаимной зависимости. Если при этом динамические равновесия удовлетворяют требованиям асимптотической стационарности, то можно утверждать, что интересы субъекта реализуются с «наилучшим результатом» на всем бесконечном горизонте, в том числе при  $n \rightarrow \infty$ . Отсюда следует, что динамические равновесия естественным образом определяют *внутреннюю цель* при принятии решений.

## 4 Заключение

Рассмотрена модель принятия решений агентом, способным формировать внутреннюю цель и использующим субъективные представления о ситуации выбора. Показано, что цель выбора состоит в максимизации удельной ценности ситуации выбора по результату, и результат выбора определяется представлениями агента о ситуации выбора и о своих интересах. При принятии решений он использует три множества альтернатив: управляющие  $C$  (способы действия), структурные  $G$  и идентификации  $X$ . Следовательно, можно предположить существование трех виртуальных сторон, осуществляющих выбор соответствующих альтернатив, являющихся равновесными стратегиями.

## Список литературы

- [Виноградов и др., 2011] Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора. Искусственный интеллект и принятие решений. № 3. 2011. с. 58-72.
- [Баранов, 2002] Баранов В.В. Динамические равновесия в задачах стохастического управления и принятия решений при неопределенностях // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2002. №3. С. 77-93.

- [Виноградов и др., 2008] Виноградов Г.П., Борисов П.А., Семенов Н.А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечеткой логики в задачах прогнозирования. Известия РАН. Теория и системы управления, 2008, №1. с.78-84.
- [Виноградов и др., 2015] Виноградов Г.П., Шматов Г.П., Борзов Д.А. Формирование представлений агента о предметной области в ситуации выбора. Программные продукты и системы. №2 (110), 2015. – С. 83–94.
- [Чхатишвили, 2004] Чхатишвили А.Г. Теоретико-игровые модели информационного управления. – М.: ПМСОФТ, 2004.
- [Городецкий и др., 2015] Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения / Известия РАН, Теория и системы управления, 2015, №5, с. 102–121.
- [Канеман и др., 2005] Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения. – Харьков: Гуманитарный центр, 2005.
- [Анохин и др., 2002] Анохин К.В., Бурцев М.С., Зарайская И.Ю., Лукашев А.О., Редько В.Г. Проект «Мозг Анимата»: разработка модели адаптивного поведения на основе теории функциональных систем // Восьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. М.: Физматлит, 2002. Том. 2. С. 781-789.
- [Миллер и др., 1965] Миллер Дж., Галантер Е., Прибрам К. Планы и структуры поведения, изд-во «Прогресс», 1965.

## MODEL OF THE PROCESS OF DECISION-MAKING WITH THE SELECTED STRUCTURES OF PRESENTATIONS AND PREFERENCES

Vinogradov G.P. ([wgp272ng@mail.ru](mailto:wgp272ng@mail.ru))  
Tver state technical University, Tver

It is shown that an agent when making decisions uses three sets of alternatives: control, structural, and identification. This suggests the existence of three virtual parties involved in the selection of appropriate alternatives. Rules for the selection of alternatives depending on the subject's understanding of the situation and structure their interests are shaped by compromise.

**Keywords:** reflexive governance, decision-making model, a compromise.

## МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РАСПЛЫВЧАТОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ<sup>1</sup>

Клюшин А.Ю. (*klalex@inbox.ru*),

Мутовкина Н.Ю. (*letter-boxNM@yandex.ru*)

Тверской государственный технический университет,  
Тверь

В работе представлены методы минимизации влияния условий расплывчатой неопределенности на принятие управленческих решений в сложных современных системах управления. Дано определение расплывчатой неопределенности, рассмотрены причины ее возникновения. Установлено, что при принятии управленческих решений в большинстве случаев ЛПР получает не совсем тот результат, на который рассчитывал до реализации принятого решения. Предлагаемые методы позволяют свести к минимуму негативные последствия принятия решений.

**Ключевые слова:** принятие решений, управленческие воздействия, расплывчатая неопределенность, минимизация рисков.

### 1 Введение

Прежде, чем говорить о сути проблемы, следует определиться с ее терминологическим аппаратом. Для этого следует выявить сущность расплывчатой неопределенности, особенности ее влияния на принятие решений в сложных современных системах управления (СССУ), зависимость результативности управленческих решений от влияния условий нечеткости и расплывчатости как окружающей лица, принимающего решение (ЛПР), среды, так и от его внутреннего состояния, настроения, компетентности и т.п. Одной из первых работ, в которой были подняты эти вопросы, является [Беллман, 1976]. Вопросом, заслуживающем особого внимания, выступает применение метода перехода от нечеткости интерпретации условий, в которых происходит принятие решения, к четкости [Тэрano и др., 1993].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-05545А).

Задача принятия решения направлена на достижение наилучшего оптимального или приемлемого способа действий для достижения одной или нескольких, непротиворечащих друг другу, целей. Для достижения желаемого результата ЛПР должен четко формулировать свои цели, особенно, когда последствия реализации решения касаются не только его одного. ЛПР должен обладать хорошо развитым качеством социальной ответственности. На практике часто наблюдается ситуация существенного и не очень, но все же расхождения между желаемым результатом (или состоянием объекта управления) и фактическим результатом. Подобное расхождение, в свою очередь, также создает прецедент для выработки нового решения, – теперь уже по устранению образовавшегося разрыва. В результате увеличивается время процесса принятия решения, возрастают затраты на осуществление этого процесса и устранение негативных последствий. Всего этого можно избежать, если с самого начала просчитать возможные исходы принятия и реализации конкретного решения согласно методике сценарного подхода «что будет, если...?» [Клюшин и др., 2015]. Конечно, сам ЛПР – человек и он не в силах просчитать все сценарии самостоятельно, поэтому хорошим средством решения данной проблемы выступают интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР). Но СППР также создаются людьми, поэтому проблема принятия решений человеком в условиях расплывчатой неопределенности остается актуальной и по сей день.

Авторы статьи акцентируют внимание на том, что нужно сделать ЛПР для принятия наиболее эффективного решения в условиях множества альтернатив, многозначности выбора, неопределенности силы влияния факторов окружающей среды, а также изменчивости внутреннего «Я» самого ЛПР.

## **2 Расплывчатая неопределенность и причины ее появления**

Расплывчатая неопределенность, возникающая в принятии решений, связана с нарушением аксиом тождественности, неоднозначностью классификаций. Она описывается посредством функций принадлежности и, как правило, характерна для лингвистических моделей, хотя встречается и в математике. Например, понятия «много больше» ( $\gg$ ), «приблизительно равно» ( $\approx$ ) являются типично расплывчатыми. Расплывчатость характеризуется тем, что ни один эксперимент не может исключить ее полностью. На рис. 1 представлена классификация неопределенностей, характерных для процесса принятия решений в СССР. Под внешней неопределенностью подразумевается неопределенность исходной информации, проявляющаяся в различных аспектах, в особенности, при воздействии на систему неизвестных

факторов. Наиболее простой вид такого рода неопределенности – стохастическая неопределенность. Она возникает тогда, когда неизвестные факторы представляют собой случайные величины (СВ) или случайные функции, статистические характеристики которых могут быть определены на основании анализа прошлого опыта функционирования объекта системных исследований. Задача ЛПР в этом случае заключается в определении вероятностных характеристик случайных факторов (СФ) и постановке задачи принятия решения в форме статистической оптимизации. Нечеткая неопределенность возникает в тех случаях, когда СФ не могут быть изучены и описаны статистическими методами:

- а) распределение вероятностей для СФ в принципе существует, но к моменту принятия решения не может быть получено;
- б) распределение вероятностей для СФ вообще не существует.



Рисунок 1 – Неопределенности в принятии решений

Внутреннюю неопределенность, т.е. характеризующуюся влиянием на принятие решений внутренних факторов (параметров внутренней среды объекта исследования и самого ЛПР) можно разделить на неопределенность целей и неопределенность последующего влияния результатов принятого решения на проблемную ситуацию. Поскольку решение принимается для сложной системы, например, промышленного предприятия, то развитие системы во времени может иметь множество стратегий. Очевидно, что на этапе формирования решения и принятия управляющего воздействия ЛПР не может в точности представить себе достоверной картины развития ситуации. Неопределенность целей – это следствие многокритериальности задач принятия решений на промышленном предприятии и опоры на противоречивые критерии.

Смешанная неопределенность возникает в тех случаях, когда при принятии решений присутствуют как элементы внешней, так и внутренней неопределенности.

Решение разного рода проблем в СССР может быть найдено разными способами. Выбор способа решения зависит от многих параметров, главным из которых является субъективное восприятие ЛПР существующей действительности и объективной неопределенности, формирующейся под влиянием экзогенных факторов. В свою очередь, субъективное восприятие ЛПР создается под влиянием его психо-поведенческого типа – совокупности понятий: знания, убеждения, желания, намерения, цели, обязательства, мобильность, благожелательность, правдивость, рациональность. На образование и закрепление психо-поведенческого типа большое влияние оказывают: окружающая ЛПР среда, воспитание, компетентность, самосознание, наследственность. Для успешной работы ЛПР должен обладать определенной гибкостью, быть готовым к неожиданным ситуациям и исходам, уметь принимать на себя ответственность и не пасовать перед трудностями. Для этого ЛПР полезно участвовать в специальных психологических тренингах.

Условия расплывчатой неопределенности возникают в силу недостаточного числа однородных экспериментов, наблюдений; когда под наблюдение попадают неоднородные объекты; когда решается уникальная задача, т.е. у ЛПР нет опыта ее решения.

Нечеткость может быть обусловлена интерактивным изменением информации, которой обладает ЛПР: искажение, абстрагирование, агрегирование, потеря (частичная или полная). В [Bandler et al., 1975] выдвинуто предположение, что это происходит при переходе глубинных структур ЛПР (сенсорные репрезентации, хранящиеся в нервной системе) в поверхностные структуры (слова, знаки и символы, которые ЛПР выбирает для представления первичного сенсорного опыта). Каждый ЛПР по-своему видит одну и ту же проблему в силу индивидуальных особенностей своей психики. То, что для одного ЛПР – серьезная проблема, для другого – всего лишь небольшая помеха.

Дальнейшие размышления о причинах возникновения условий расплывчатой неопределенности позволили авторам статьи выявить основные из них (рис. 2).

Пять причин, выделенные более темным оттенком серого, являются причинами статистической нечеткости, которая, как правило, возникает по вине ЛПР. Статистическая нечеткость есть следствие невнимательности, усталости, апатии ЛПР либо создается им намеренно для максимизации собственной выгоды. Проявление и сила влияния

остальных причин зависит от того, насколько стабильным является психо-поведенческий тип ЛПР.



Рисунок 2 – Причины vague uncertainty

В условиях расплывчатой неопределенности ЛПР не обладает классической статистической выборкой, однако в силу своего опыта, компетентности и личностных особенностей он склонен предполагать, что полученные результаты распределяются по некоторому закону. ЛПР не может точно оценить параметры этого закона, но может сделать определенное заключение о виде закона распределения и о диапазоне разброса ключевых параметров, входящих в его математическое описание. Может проводиться нечеткая выборка, т.е. выборка с учетом субъективных предпочтений ЛПР, а могут быть получены нечеткие результаты, т.е. результаты, «подправленные» ЛПР. Такие ситуации являются объектом изучения квазистатистики.

### 3 Методы минимизации влияния условий расплывчатой неопределенности

В СССР возникает много проблем, требующих незамедлительного решения по следующим причинам:

- ускоренные темпы развития бизнеса, экономики и информационных технологий, в т.ч. систем распределенного искусственного интеллекта;
- усиление конкуренции и появление на рынке новых игроков;
- износ и устаревание основных промышленно-производственных фондов;
- неустойчивый спрос на многие товары и услуги, определяемый модой, изменениями вкусов и предпочтений потребителей, а также их финансовым положением;
- глобальные экономические кризисы и нестабильная политическая ситуация в мире.

Но если при принятии решений пренебрегать влиянием на них возникающих неопределенностей различной природы, то такие решения ни в коем случае нельзя считать оптимальными, а так как выполнение условия оптимальности решения является обязательным для успешного функционирования CCCУ, то решения, принятые в условиях неопределенности без учета ее влияния, могут привести с высокой долей вероятности к отрицательному результату.

Поэтому, для минимизации неопределенностей при принятии решений в CCCУ предлагаются следующие методы.

1. Для минимизации внешней стохастической неопределенности следует организовать сбор соответствующей статистической информации о состоянии внешней среды CCCУ за прошлые периоды ее функционирования (обычно, несколько лет) с обязательным условием репрезентативности выборки, а именно, о тех внешних факторах, которые влияли на принятие решения по этому же вопросу ранее. По статистическим значениям СФ могут быть получены их характеристики, а, следовательно, рассчитаны прогнозные значения влияния СФ на принятие решения.

2. Чтобы минимизировать нечеткую неопределенность, следует:

для первого случая (рис. 1): в процессе функционирования CCCУ проводить адаптацию решения с учетом опыта работы аналогичных систем, находящихся в свое время в тех же самых условиях. По мере накопления информации скорректировать первоначальное решение;

для второго случая: лучше перестраховаться и принять решение, исходя из высокой вероятности самого неблагоприятного стечения обстоятельств. В этом случае решение принимается по правилу Вальда (правило крайнего пессимизма). Рассматривая  $i$ -е решение ( $i = \overline{1, n}$ ), предполагаем, что на самом деле ситуация складывается самая плохая, т.е. приносящая самый малый доход:  $d_i = \min_j \{d_{ij}\}$ , где  $j = \overline{1, m}$  – ситуации, в которых может быть принято  $i$ -е решение. Но теперь среди  $d_i$  следует выбрать  $i^*$ -е решение с наибольшим  $d_i^*$ . Т.о., по правилу Вальда рекомендуется принять  $i^*$ -е решение, такое, что  $d_i^* = \max_i \{d_i\} = \max_i \{\min_j \{d_{ij}\}\}$ .

3. При неопределенности целей необходимо тщательно анализировать выдвигаемые критерии и грамотно формулировать цель исследования. Один из возможных путей решения данной проблемы – это постановка задачи на условный экстремум, когда ряд критериев переводится в разряд ограничений. Также возможен переход к сложным, комбинированным критериям; проведение свертки критериев.

4. Для минимизации неопределенности результатов следует использовать различные рекомендации прогнозирования развития системы во времени, например, осуществление прогноза некоторой «средней» динамики развития CCCУ или допущение возможности



реализации самой неблагоприятной ситуации и принимать решения, исходя из этих стратегий.

Хорошим подспорьем в устранении (как правило, частичном) и минимизации неопределенностей являются различные виды экспертного опроса специалистов по тому или иному направлению принятия решений в СССР.

В условиях расплывчатой неопределенности выбор одной и той же альтернативы может привести к разным последствиям, причем иногда – к диаметрально противоположным. Какие именно это будут последствия, в момент выбора ЛПР неизвестно. ЛПР может лишь предполагать, а точность предположений зависит от его психо-поведенческого типа и той информации, которой он обладает на момент принятия решения.

На рисунке 3 в матрице  $\tilde{c}_{ij}$  показаны оценки ситуаций, когда принято решение  $\tilde{a}_i, i = \overline{1, n}$  и получен результат  $\tilde{b}_j, j = \overline{1, m}$ .

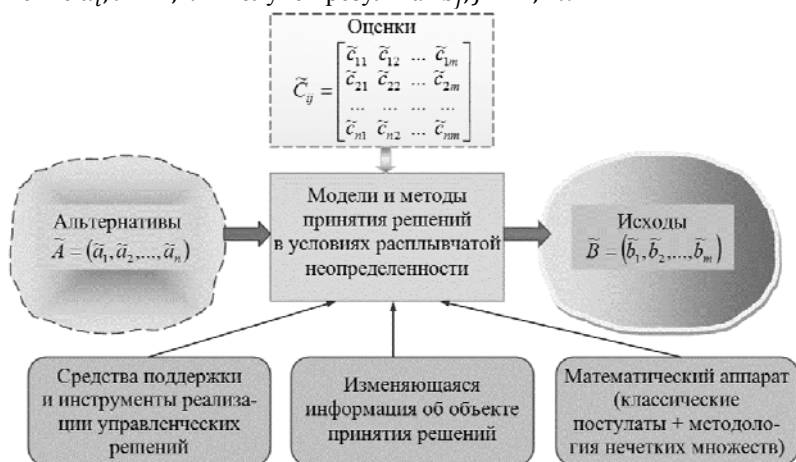


Рисунок 3 – Схема принятия решения в условиях расплывчатой неопределенности

Также в процессе исследования установлено, что минимизация расплывчатой неопределенности возможна в результате применения алгоритма «выравнивания» мнений и интересов ЛПР и согласования с окружением и самим собою. На выбор ЛПР при принятии им управленческого решения влияют особенности глубинных и поверхностных структур ЛПР, взаимодействие его сознания и подсознания, поведение, ценностно-целевые установки, интуиция.

## 4 Заключение

Таким образом, в условиях расплывчатой неопределенности принимать решения помогают методы согласованной оптимизации и согласованного

управления, выделенные авторами в отдельную группу методов решения оптимизационных задач. Эти методы сочетают в себе человеко-машинные процедуры, нечеткую логику и «мягкие» вычисления, а также учитывают влияние человеческого фактора на принятие решений.

Основной причиной расплывчатой неопределенности в СССР является человеческий фактор, силу и неоднозначность влияния которого можно «измерить», «смоделировать» посредством развития и применения человеко-машинных процедур, «мягких» вычислений и методов нечеткой логики.

Говорить же о полном устранении неопределенности при принятии решений по любому вопросу почти не приходится, поскольку, как показывает практика, какая-то доля неопределенности, пусть даже и минимальная, все равно существует. Аннулировать неопределенность нельзя, можно только ее минимизировать.

### **Список литературы**

- [Беллман, 1976] Беллман, Р., Заде, Л. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. 230 с., С. 172 – 215
- [Клюшин и др., 2015] Клюшин, А.Ю. Нечеткие модели поведения лиц и групп, принимающих решения: монография. Часть 2 / А.Ю. Клюшин, В.Н. Кузнецов, Н.Ю. Мutowкина. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 248 с.
- [Тэрано и др., 1993] Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: «Мир», 1993. 368 с.
- [Bandler et al., 1975] Bandler R., Grinder J. The Structure of Magic: A Book about Language and Therapy. Palo Alto, Calif.: Behavior Books, 1975. 225 p.

## **METHODS OF MINIMIZATION OF INFLUENCE OF CONDITIONS OF FUZZY AMBIGUITY ON ADOPTION OF MANAGEMENT DECISIONS**

Klyushin A.Yu. (*klalex@inbox.ru*),  
Mutovkina N.Yu. (*letter-boxNM@yandex.ru*)  
Tver State Technical University, Tver

The paper presents methods for minimizing the influence of conditions of vague uncertainty on the adoption of managerial decisions in complex modern management systems. The definition of vague uncertainty is given, the reasons for its occurrence are considered. It is established that when making managerial decisions in most cases, the decision maker receives not exactly the result that he expected before the implementation of the decision. The proposed methods allow minimizing the negative consequences of decision-making.

**Keywords:** decision making, management impacts, vague uncertainty, risk minimization.

## НЕЧЕТКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЧЕЛОВЕКОРАЗУМНЫХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

Мутовкина Н.Ю. (*letter-boxNM@yandex.ru*)

Семенов Н.А. (*slt1155@mail.ru*)

Тверской государственный технический университет,  
Тверь

В работе раскрыта сущность человекообразных систем, рассмотрены их состав и структура. Изучены понятия расплывчатых целей, ограничений и решений в человекообразных системах, сделана попытка развития общей теории итерационных процессов взаимодействия и принятия решений, которые в разной степени включают расплывчатость и неопределенность.

**Ключевые слова:** человекообразная система, множество, состояние, управляющее воздействие, принятие решений, неопределенность, расплывчатость.

### 1 Введение

Человекообразные системы (ЧРС) в своем функционировании характеризуются расплывчатостью и неопределенностью, причем эти особенности касаются не только поведения участников системы, но и задаваемых ими целей, задач и выбора инструментов их достижения и решения. В ЧРС решения принимаются в расплывчатых условиях, а принятие решения – процесс итерационный. Прежде, чем перейти к описанию проблематики принятия решений в ЧРС, обусловленной субъективностью и неоднозначностью деятельности участников системы, а также выработке рекомендаций по преодолению этих особенностей, следует рассмотреть само понятие «человекообразная система».

Термин «человекообразная система» был впервые введен в научный оборот в 2014 году профессором, д.т.н. Кузнецовым В.Н. Как указано в [Семенов и др., 2015], ЧРС представляет собой симбиоз ученых, информационных и программных систем поддержки принятия решений и экспертной системы. В ЧРС осуществляется информационная поддержка

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-05617-а).

решений нетривиальных проблем на основе ориентированной на развитие разума лиц и групп, принимающих решения, петли обратной связи (информация → разум → решение проблемы → информация). При этом применяются методы искусственного интеллекта, методы и эвристические процедуры формирования творческих и интуитивных решений, методы их статистической нечеткой оценки и согласованной оптимизации в условиях расплывчатой неопределенности. ЧРС отличается от «человекоподобной» системы в первую очередь тем, что в своей основе содержит человека-исследователя; человека, высокий уровень интеллекта, а также хорошо развитые гуманистические и лидерские качества которого позволяют ему критически подходить к оценке возможных решений сложных проблем современности. Как неоднократно доказала практика, за весь тот период, что люди считаются «хозяевами» Земли, венцом, так сказать, творения, ими совершено множество ошибок, принято огромное количество неверных решений, некоторые из которых просто фатальны. Причем, большая часть негативных последствий от неверно принятых решений пришлась именно на XX век и продолжает увеличиваться. Этому способствует необдуманность использования человеком результатов научно-технического прогресса, что характерно для всех областей жизни общества. Для сведения к минимуму негативных последствий принятия людьми неверных решений авторами исследования предлагается разрабатывать и внедрять в разные сферы жизни и деятельности общества ЧРС. Эти системы настроены на выбор такого плана действий по решению сложной проблемы, который максимизирует значение целевой функции общей полезности, но и не допускает фатальной минимизации функции индивидуальной полезности, т.е. ЧРС действует, руководствуясь методами согласованной оптимизации [Мutowкина, 2009], [Кузнецов и др., 2014].

## **2 Состав и структура человекообразных систем**

В ЧРС входят как управляющие, так и управляемые элементы.

Управляющие элементы – люди (ученые, исследователи, эксперты, лица, принимающие решения), которые обладают достаточными знаниями и компетентностью в смежных предметных областях, что позволяет им, досконально разобравшись в ситуации, предложить такое решение проблемы, которое устроит всех участников процесса принятия решения примерно в равной степени, уж точно не меньше, чем минимально допустимое значение целевой функции каждого из них. При этом всегда существует вероятность несовпадения целей и интересов управляющих элементов, а это оказывает негативное воздействие на управляемые элементы, которые, под натиском разнородных данных входят в состояние коллапса и начинают выдавать нелогичные, зачастую

диаметрально противоположные результаты. Поэтому актуальным представляется применение методов и моделей недопущения и решения конфликтных ситуаций [Мутовкина и др., 2014] в ЧРС и, прежде всего, в ее управляющей части. Управляющие элементы в дальнейшем будут обозначаться как элементы вида А.

Управляемые элементы в ЧРС разделяются на два вида: В и С. К виду В относятся системы поддержки принятия решений (СППР) и экспертные системы (ЭС), обладающие признаками интеллектуальности. Эти системы моделируют поведение эксперта в конкретной предметной области. Однако современные проблемы настолько сложны, что для их решения требуются знания из нескольких предметных областей, поэтому в ЧРС предусмотрен междисциплинарный подход к анализу проблемной области. Элементы из группы В обеспечивают:

- информацию о текущем состоянии проблемы, анализ сообщений и привлечение внимания ЛПР к каким-либо изменениям в проблемной ситуации;
- интерактивное проведение диагностики причин изменений;
- выбор необходимых действий по устранению причин нежелательных изменений (проблема не должна усугубляться) [Аксенов и др., 2015].

ЛПР как получает сведения от элементов вида В, так и закладывает в них факты и правила. И здесь на первое место в иерархии важностей выступает «разумность» ЛПР, обусловленная не только уровнем его интеллекта, но и сформированными с его рождения человеческими качествами. Любое искажение фактов и правил, в т.ч. в угоду личной выгоде, недопустимо, потому как это может повлечь необратимые последствия, которые обернутся против самого человека, «подтасовавшего» факты. ЛПР сообщает свои оценки через специальный интерфейс – программу, обеспечивающую взаимодействие ЛПР с ЭС и/или СППР. Совокупность правил, которые позволяют получать ответы на запросы со стороны интерфейса, называется механизмом логического вывода (МЛВ). МЛВ обращается за необходимыми данными к базе знаний (БЗ), представляющей собой набор фактов и некоторых правил, которые не входят в МЛВ. Особенностью БЗ является то, что ее структура (в отличие от структуры обычных баз данных) позволяет вести поиск оптимального решения «разумно», исключая заведомо ложные ветви рассуждений.

Группу С составляют пассивные элементы, не имеющие целей и каких-либо предпочтений, мнений, а выполняющие роль вспомогательных инструментов для элементов вида А и в некоторой степени – вида В (рис.1).

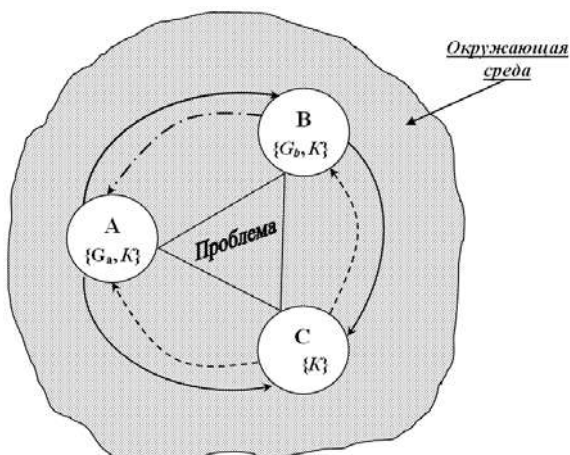


Рисунок 1 – Состав человекообразной системы

В частности, элементами вида С являются программные продукты, позволяющие работать с нечетко определенными числовыми величинами, которые могут выражаться в виде распределения нечетких мер, позволяющих более достоверно описывать реальные явления и процессы, требующие незамедлительной реакции человека.

На рисунке 1 показано, что элементы видов А и В обладают множеством целей и возможностью возникновения конфликтных ситуаций из-за расхождений в целях и подходах к решению одной и той же проблемы. Элементы вида С могут конфликтовать друг с другом вследствие несогласованности совместной деятельности элементов вида А и В.

В ЧРС возникают качественно новые свойства поведения управляющих элементов, которые, в отличие от обычного, среднестатистического человека (к сожалению, не каждый человек разумен в прямом смысле этого слова) всегда действуют рационально, в соответствии с законами логики и, не забывая при этом о гуманистических ценностях.

Для ЧРС характерно понятие «полезности» (utility). Полезностью в ЧРС называется потенциальная доступность как управляющих, так и управляемых элементов, с которыми любой из элементов может связаться в случае необходимости и при этом каждый из них получит некоторый положительный эффект (приращение собственной функции полезности).

### **3 Итерационные процессы взаимодействия управляющих и управляемых элементов в ЧРС**

Взаимодействие в ЧРС между управляющими и управляемыми элементами осуществляется с целью решения поставленной сложной

задачи и представляет собой итерационный процесс. При этом наибольший интерес в силу сложности и неоднозначности поведения представляет взаимодействие элементов видов А и В.

Пусть управляемый элемент  $B_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , имеет конечное число состояний и под воздействием со стороны управляющего элемента  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , может переходить из одного состояния в другое. Каждое состояние  $s_t$ , в котором элемент  $B_j$  находится в момент времени  $t$ ,  $t = 0, 1, 2, \dots$ , принадлежит заданному конечному множеству возможных состояний  $S = \{s_1, \dots, s_p\}$ ; при этом имеющее место в момент  $t$  управляющее воздействие  $u(t)$  является элементом множества  $U = \{\alpha_1, \dots, \alpha_g\}$ . Динамика элемента  $B_j$  во времени описывается уравнением состояния:

$$s_{t+1} = f(s_t, u_t), \quad t = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

в котором  $f$  – заданная функция, отображающая  $S \times U$  в  $S$ . Так что  $f(s_t, u_t)$  представляет собой следующее состояние для  $s_t$  при управляющем воздействии  $u_t$ . В силу субъективности предпочтений и взглядов участников вида А на решение одной и той же проблемы функция  $f$  является случайной. Тогда состояние элемента  $B_j$  в момент  $t + 1$  характеризуется распределением вероятностей  $P(s_{t+1}|s_t, u_t)$  на  $S$ , условным по  $s_t$  и  $u_t$ . Предполагается, что в каждый момент времени  $t$  на поведение управляющего элемента по отношению к элементу  $B_j$  налагается расплывчатое ограничение  $\tilde{Z}_t$ , являющееся расплывчатым множеством в  $U$  с функцией принадлежности  $\mu_t(u_t)$ . Ограничения налагаются в соответствии с логикой рассуждений элемента  $A_i$ , не противоречащей здравому смыслу. Цель представляет собой расплывчатое множество  $\tilde{Q}_T$  в  $S$ , определяемое функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{Q}_T}(s_T)$ , где  $T$  – окончание периода, отведенного на решение задачи. Предполагается, что в момент  $T + 1$  решение задачи уже будет не актуально. В начале взаимодействия элемент  $B_j$  находится в начальном состоянии  $s_0$ . Функционирование элемента  $B_j$  определяется условным распределением вероятностей  $P(s_{t+1}|s_t, u_t)$ . Элемент  $A_i$  должен максимизировать вероятность достижения расплывчатой цели  $\tilde{Q}_T$  к моменту  $T$  при условии выполнения расплывчатых ограничений  $\tilde{Z}_0, \dots, \tilde{Z}_{T-1}$ . Если расплывчатая цель  $\tilde{Q}_T$  рассматривается как расплывчатое событие [Zadeh, 1968] в пространстве  $S$ , то условная вероятность этого события при фиксированных  $s_{T-1}$  и  $u_{T-1}$  рассчитывается как условное математическое ожидание:

$$M_{\mu_{\tilde{Q}_T}}(s_T) = \sum_{s_T} p(s_T|s_{T-1}, u_{T-1}) \cdot \mu_{\tilde{Q}_T}(s_T), \quad (2)$$

где  $\mu_{\tilde{Q}_T}$  – функция принадлежности расплывчатой цели.

Задача сводится к нахождению стратегии, состоящей из последовательности управляющих воздействий  $u_0, \dots, u_{T-1}$ ,

максимизирующей значение целевой функции. Итерационность процесса позволяет представить решение в виде:

$$u_t = v_t(s_t), \quad t = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где  $v_t$  – принятая стратегия выбора управляющего воздействия  $u_t$  в зависимости от реализовавшегося  $s_t$ . После этого для получения как  $v_t$ , так и максимизирующего решения  $u_0^*, \dots, u_{T-1}^*$  можно применить метод динамического программирования. Для реализации метода предлагается применить рекуррентные соотношения (4), наподобие тех, что представлены в [Беллман и др., 1976]:

$$\begin{aligned} \mu_{Q_{T-\tau}}(s_{T-\tau}) &= \max_{u_{T-\tau}} \left( \mu_{T-\tau}(u_{T-\tau}), M_{\mu_{Q_{T-\tau+1}}}(s_{T-\tau+1}) \right), \\ M_{\mu_{Q_{T-\tau+1}}}(s_{T-\tau+1}) &= \sum_{s_{T-\tau+1}} P(s_{T-\tau+1} | s_{T-\tau}, u_{T-\tau}) \mu_{Q_{T-\tau+1}}(s_{T-\tau+1}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mu_{Q_{T-\tau}}(s_{T-\tau})$  – функция принадлежности расплывчатой цели в момент  $t = T - \tau$ , индуцированной расплывчатой целью в момент  $t = T - \tau + 1$ ,  $\tau = \overline{1, T}$ .

Например, пусть интеллектуальная ЭС имеет 5 состояний: «не соответствует цели» ( $s_1$ ), «незначительно соответствует цели» ( $s_2$ ), «соответствует цели примерно на 50%» ( $s_3$ ), «может обеспечить достижение цели, но для этого требуется некоторое расширение БЗ» ( $s_4$ ), «соответствует цели на 100%» ( $s_5$ ). Состояние  $s_1$  указывает на то, что ЭС «не понимает» поставленную цель, поскольку использует факты и правила без обновления информации о новой задаче. Состояние  $s_2$  означает, что ЭС не может обеспечить эффективную поддержку элементу  $A_1$ , поскольку не обладает достаточной информацией о проблемной области, однако эту ситуацию можно исправить, дополнив БЗ системы необходимой информацией. Состояния  $s_3$  и  $s_4$  также требуют дополнений и изменений БЗ системы, но в разных объемах. Состояние  $s_5$  является наиболее эффективным состоянием ЭС, позволяющим  $A_1$  скорее достичь поставленную цель. Проблема заключается в том, что  $A_1$  должен найти такие управляющие воздействия (последовательности обновлений и дополнений БЗ ЭС), чтобы текущее состояние системы не изменилось на худшее и система достигла состояния  $s_5$  за конечное число итераций. При этом время для решения поставленной задачи у  $A_1$  ограничено, а это предполагает его взаимодействие с ЭС независимо от ее состояния в момент  $t$ . Пусть  $A_1$  обладает знаниями о проблемной области, которыми не обладает система. Его управляющие воздействия сводятся к введению в систему этих знаний в определенной последовательности с учетом изменений и дополнений в рассматриваемых предметной и проблемной областях. Эти изменения и дополнения обозначаются входными сигналами  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ , т.е.  $g = 3$ , а распределение вероятностей  $P(s_{t+1} | s_t, u_t)$  задается таблицей 1. Время  $T = 2$ .



Таблица 1 – Распределение вероятностей

$u_t = \alpha_t$					
$s_{t+1} \backslash s_t$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$
$s_1$	0,5	0,15	0,1	0,1	0,15
$s_2$	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3
$s_3$	0,7	0	0	0,2	0,1
$s_4$	0	0,3	0,2	0	0,5
$s_5$	0,4	0,1	0,25	0,15	0,1
$u_t = \alpha_2$					
$s_1$	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
$s_2$	0,3	0,3	0	0,3	0,1
$s_3$	0,4	0,3	0,3	0	0
$s_4$	0,2	0,2	0,5	0	0,1
$s_5$	0,4	0,4	0	0	0,2
$u_t = \alpha_3$					
$s_1$	0,3	0,1	0,1	0	0,5
$s_2$	0,25	0,25	0	0,4	0,1
$s_3$	0,8	0	0	0,1	0,1
$s_4$	0,4	0,5	0,1	0	0
$s_5$	0,2	0,3	0,4	0,1	0

Например, число 0,2 в положении  $(s_1, s_3)$  при  $u_t = \alpha_1$  означает, что если в момент времени  $t$  ЭС находится в состоянии  $s_1$  и  $A_1$  оказывает воздействие  $\alpha_1$ , то в момент  $t + 1$  система с вероятностью 0,2 окажется в состоянии  $s_3$ .

Пусть распылчатая цель в момент времени  $t = 2$  определяется функцией:  $\mu_{Q_2}(s_1)=0,2$ ,  $\mu_{Q_2}(s_2)=0,35$ ,  $\mu_{Q_2}(s_3)=0,5$ ,  $\mu_{Q_2}(s_4)=0,75$ ,  $\mu_{Q_2}(s_5)=1$ , а распылчатые ограничения в моменты  $t = 0$  и  $t = 1$  задаются функциями:  $\mu_0(\alpha_1) = 0,5$ ,  $\mu_0(\alpha_2) = 0,7$ ,  $\mu_0(\alpha_3) = 0,9$ ,  $\mu_1(\alpha_1) = 0,9$ ,  $\mu_1(\alpha_2) = 1$ ,  $\mu_1(\alpha_3) = 0,8$ . Применяя (4), найдем  $M_{\mu_{Q_2}(s_k)}$  как функцию от  $s_1$  и  $u_1$  (таблица 2). Следовательно, в дальнейших расчетах последовательно участвуют  $\mu_1(\alpha_3) = 0,8$ ,  $\mu_1(\alpha_1) = 0,9$ ,  $\mu_1(\alpha_1) = 0,9$ ,  $\mu_1(\alpha_1) = 0,9$  и  $\mu_1(\alpha_1) = 0,9$  при  $t = 1$ .

Таблица 2 – Значения условного математического ожидания  $M_{\mu_{Q_2}(s_k)}$ 

$s_k \backslash u_1$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$
$\alpha_1$	0,43	0,60	0,39	0,71	0,45
$\alpha_2$	0,53	0,49	0,34	0,46	0,42
$\alpha_3$	0,65	0,54	0,34	0,31	0,42

Далее, руководствуясь (4) при  $\tau = 1$  и вычисляя  $\mu_{Q_1}(s_k)$ , находим:  $\mu_{Q_1}(s_1) = 0,65$ ,  $\mu_{Q_1}(s_2) = 0,60$ ,  $\mu_{Q_1}(s_3) = 0,39$ ,  $\mu_{Q_1}(s_4) = 0,71$  и  $\mu_{Q_1}(s_5) = 0,45$ . Соответствующая оптимальная стратегия имеет вид:

$$v_1(s_1) = \alpha_3, v_1(s_2) = \alpha_1, v_1(s_3) = \alpha_1, v_1(s_4) = \alpha_1, v_1(s_5) = \alpha_1. \quad (5)$$

Результаты последней итерации для  $\tau = 2$  приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения условного математического ожидания  $M_{\mu_{Q_1}(s_k)}$

$s_k \backslash u_1$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$
$\alpha_1$	0,59	0,57	0,64	0,48	0,57
$\alpha_2$	0,55	0,63	0,56	0,49	0,59
$\alpha_3$	0,52	0,64	0,64	0,60	0,54

Исходя из максимальных значений в столбцах таблицы 3, очевидно, что в дальнейших расчетах последовательно участвуют  $\mu_0(\alpha_1) = 0,5$ ,  $\mu_0(\alpha_3) = 0,9$ ,  $\mu_0(\alpha_1) = 0,5$  или  $\mu_0(\alpha_3) = 0,9$ ,  $\mu_0(\alpha_3) = 0,9$  и  $\mu_0(\alpha_2) = 0,7$  при  $t = 0$ .

По аналогии с предыдущей итерацией получаем:  $\mu_{Q_0}(s_1) = 0,5$ ,  $\mu_{Q_0}(s_2) = 0,64$ ,  $\mu_{Q_0}(s_3) = 0,5$ ,  $\mu_{Q_0}(s_4) = 0,6$  и  $\mu_{Q_0}(s_5) = 0,59$ . Соответствующая оптимальная стратегия имеет вид:

$$v_0(s_1) = \alpha_1, v_0(s_2) = \alpha_3, v_0(s_3) = \alpha_1, v_0(s_4) = \alpha_3, v_0(s_5) = \alpha_2. \quad (6)$$

Значения функции  $\mu_{Q_0}(s_k)$  при  $\tau = 2$  представляют собой вероятности достижения поставленной цели в момент  $t = 2$  в предположении, что взаимодействие начинается с состояний  $s_1, s_2, s_3, s_4$  и  $s_5$  соответственно и что управляющие воздействия выбираются в соответствии с оптимальной стратегией  $v_t$ , которая задается выражениями (5) и (6).

Если взаимодействие типа  $A \rightarrow B$  сводится к управлению, т.е. оказанию управляющих воздействий на подчиненные элементы для достижения поставленной цели, то взаимодействие типа  $A \leftrightarrow A$  можно рассматривать как взаимовлияние, которое дает положительный эффект лишь в состояниях сотрудничества и компромисса.

## 4 Заключение

В работе представлен способ описания взаимодействия управляющих и управляемых элементов ЧРС, основанный на теории нечеткой логики. В частности, рассмотрен метод выявления стратегии поведения управляющего элемента по отношению к интеллектуальной ЭС. От того, какие факты и правила внесет в систему управляющий элемент, зависит эффективность ее работы и полезность выдаваемых результатов. В данной ситуации интересным представляется вопрос о согласовании стратегий нескольких управляющих элементов на одну и ту же ЭС. Для этого могут быть

адаптированы методы согласования, представленные, например, в [Кузнецов и др., 2014], [Мutowкина и др., 2014].

В силу субъективности мнений, суждений и представлений управляющих элементов их цели, ограничения и решения являются расплывчатыми, нечеткими, однако суть решаемой задачи всегда понятна каждому участнику ЧРС. В силу разумности управляющих элементов вариация между их представлениями относительно проблемы и путей ее решения минимальна, иначе система уже не может интерпретироваться как человекообразная. Тем не менее, отклонения, пусть и не существенные, присутствуют всегда. Для устранения подобных противоречий и подведения управляющих элементов к единому мнению хорошим способом представляется построение их моделей поведения во взаимодействии друг с другом на основе теории нечетких множеств и мягких вычислений.

### Список литературы

- [Аксенов и др., 2015] Аксенов, К.А. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. 104 с.
- [Беллман и др., 1976] Беллман, Р., Заде, Л. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. 230 с., С. 172 – 215.
- [Кузнецов и др., 2014] Кузнецов, В.Н. Согласование и оптимизация управленческих решений в финансово-хозяйственных системах: монография / В.Н. Кузнецов, Н.Ю. Мutowкина, В.Н. Доропей. Тверь: Изд-во ТвГТУ, 2014. 160 с.
- [Мutowкина, 2009] Мutowкина, Н.Ю. Методы согласованной оптимизации технического перевооружения промышленных предприятий: дис. ... канд. техн. наук; спец. 05.13.01, 05.13.10. Тверь: ТвГТУ, 2009. 219 с.
- [Мutowкина и др., 2014] Мutowкина, Н.Ю. Методы согласованного управления конфликтом в многоагентной системе / Н.Ю. Мutowкина, В.Н. Кузнецов, А.Ю. Ключин // Системы управления и информационные технологии, 2014. № 3.2 (57). С. 255 – 261.
- [Семенов и др., 2015] Семенов, Н.А. Человекообразные программные системы интеллектуальной поддержки решений креативных проблем / Н.А. Семенов, В.Н. Кузнецов, А.Ю. Ключин, Н.Ю. Мutowкина // Программные продукты и системы. 2015. № 3(111). С. 12 – 18.
- [Zadeh, 1968] Zadeh, L.A. Probability Measures of Fuzzy Events // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 1968, vol. 23, No. 2, pp. 421 – 427.

# FUZZY INTERACTIONS IN HUMAN-INTELLIGENT SYSTEMS

Mutovkina N.Yu. (*letter-boxNM@yandex.ru*),

Semenov N.A. (*slt1155@mail.ru*)

Tver State Technical University, Tver

The essence of human-intelligent systems is revealed in the work, their composition and structure are considered. The concepts of vague goals, limitations and decisions in human-intelligent systems are studied, an attempt is made to develop a general theory of iterative processes of interaction and decision-making, which to varying degrees include vagueness and uncertainty.

**Keywords:** a human-intelligent system, a multitude, a condition, a management influence, decision-making, uncertainty, vagueness.

## НЕЧЕТКИЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД О ВОЗНИКНОВЕНИИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Полетаев В.С.

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

В работе описывается подход к решению задачи построения прогноза возникновения новых угроз информационной безопасности, путем нечеткого логического вывода, основанного на анализе потока текстовых сообщений хакерских форумов.

**Ключевые слова:** прогнозирование угроз, нечеткий вывод, информационная безопасность, поток сообщений, модель форума.

### 1 Введение

В настоящее время глобальные информационные сети оказывают растущее влияние на все новые и новые сферы нашей жизни. Происходит стремительное развитие единого глобального информационно-телекоммуникационного пространства, формируются новые социальные группы, оказывается существенное влияние на традиционный образ жизни людей по всему миру. К сожалению, на сегодняшний день наблюдается стремительный рост не только новых технологий, обеспечивающих информационную потребность человечества, но и разнообразия компьютерных атак, осуществляемых с их помощью.

В данной статье речь идет о решении задач прогнозирования новых угроз информационной безопасности. Актуальность темы определяется несколькими группами факторов. С одной стороны, системы обнаружения атак на компьютерные сети уже давно применяются как одно из средств защиты информации. С другой стороны аналитические обзоры компаний, специализирующиеся в сфере интернет-технологий и защиты информации, такие как Symantec, Trustware, KasperskyLabs показывают, что за последние несколько лет количество атак на различные информационные системы продолжает расти, а средства, которыми пользуются злоумышленники, превращаются из простых хакерских инструментов в серьезное информационное оружие. [Symantec, 2015], [Trustware, 2015], [Kaspersky, 2015].

## **2 Методика определения угроз информационной безопасности**

Вопросы обеспечения безопасности информационных систем в настоящее время рассматриваются на государственном уровне, издаются нормативные акты, регламентирующие порядок защиты информации, создаются учреждения, координирующие указанную деятельность и осуществляющие надзор за соблюдением установленных норм. В 2015 году Федеральной службой по техническому и экспортному контролю Российской Федерации в результате проведенных научно-исследовательских работ разработана «Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах». Документ устанавливает единый методический подход к определению угроз безопасности информации и разработке моделей угроз безопасности информации в государственных информационных системах, защита которых обеспечивается в соответствии с приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17, утверждающим Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах.

В соответствии с Методикой, в целях установления того, существует ли возможность нарушения конфиденциальности, целостности или доступности информации, содержащейся в информационной системе, создается модель угроз безопасности информации. Кроме того, определяется, приведет ли нарушение хотя бы одного из указанных свойств безопасности информации к наступлению неприемлемых негативных последствий (ущерба) для обладателя информации или оператора.

В ходе эксплуатации информационной системы регулярно проводится анализ изменения угроз безопасности информации, а актуальные из них подлежат периодической переоценке.

Для определения угроз безопасности информации могут использоваться опубликованные в общедоступных источниках данные об уязвимостях, компьютерных атаках, вредоносном программном обеспечении, а также результаты специально проведенных исследований по выявлению угроз безопасности информации. Одним из источников такого рода информации являются хакерские форумы (специализированные дискуссионные интернет-ресурсы, посвященные вопросам информационной безопасности). Автоматизация процесса выявления и анализа указанных сведений является составляющим компонентом системы мер по защите информации в информационной системе.

В настоящей статье будет проведено исследование задачи построения прогноза возникновения новых угроз информационной безопасности, путем нечеткого логического вывода, основанного на анализе потока текстовых сообщений хакерских форумов.

### 3 Форумы хакерской направленности

В глобальной сети Интернет в настоящее время существует значительное количество дискуссионных информационных ресурсов (далее - форумов), посвященных вопросам информационной безопасности и механизмам получения несанкционированного доступа к компьютерной информации. В части из них преобладают участники, заинтересованные в обмене сведениями о защите информации, в других – интересующиеся способами совершения компьютерных атак. Указанные форумы могут рассматриваться в качестве общедоступных источников данных об уязвимостях, компьютерных атаках, вредоносном программном обеспечении.

Наиболее популярные темы, обсуждаемые в настоящее время на хакерских форумах, соответствуют категориям актуальных угроз информационной безопасности [Гатчин Ю.А., 2010], [Блинов А.М., 2010].

При организации форумов, как правило, используются наиболее популярные программные платформы: Invision Power Board (IPB), vBulletin, PunBB, Simple Machines Forum (SMF), Vanilla, XenForo, phpBB.

Перечисленные программные средства в своей реализации используют базы данных, отличающиеся по своей структуре. Вместе с тем, общая структура базы данных (модель) форумов, содержащая информацию о текстовых сообщениях выглядит следующим образом (рис. 1):

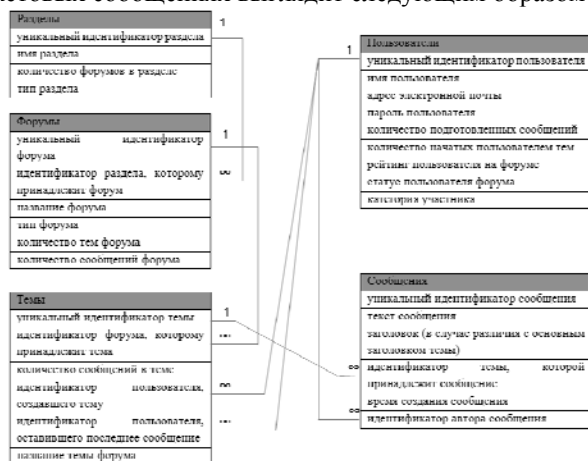


Рисунок 1 – Модель базы данных интернет-форумов

### 4 Поток текстовых сообщений интернет-форумов

Исходя из анализа модели интернет-форумов, каждое сообщение в отдельности представляет собой структуру, состоящую из следующих связанных между собой элементов (рис. 2):

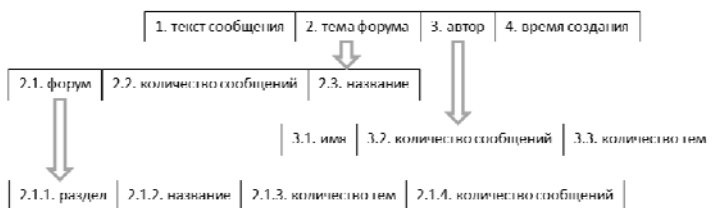


Рисунок 2 – Структура сообщения интернет-форума

Потоком текстовых сообщений является множество текстовых сообщений интернет-форумов, создаваемых пользователями с течением времени.

Представленная структура текстовых сообщений позволяет проводить их семантический и статистический анализ, учитывая принадлежность к конкретному форуму, теме форума, количеству сообщений темы форума, автору, рейтингу автора, а также времени создания.

Задача по сбору сообщений пользователей форумов является алгоритмически разрешимой, существуют компьютерные программы, обладающие указанными функциональными возможностями. Их применение позволяет реализовать программное средство, способное формировать поток текстовых сообщений различных хакерских форумов.

## 5 Системы нечеткого вывода об угрозах информационной безопасности

В связи с тем, что хакерские форумы представляют собой хранилища неформализованных данных из области информационных технологий и безопасности, содержат нечеткие понятия и знания, целесообразно применение для работы с ними нечеткой логики. Предпосылкой для применения нечетких моделей является наличие неопределенности обусловленной неполнотой информации и сложностью предметной области [Леоненков А.В., 2005], [Усков А.А., 2004], [Зайченко Ю.П., 2008].

Результаты анализа создаваемых на хакерских форумах сообщений, могут быть использованы в качестве входных параметров для системы нечеткого вывода, прогнозирующей возникновение новых угроз информационной безопасности.

Получая нечеткий вывод о возникновении новой угрозы информационной безопасности, специалист по защите информации имеет возможность оценить степень угрозы для защищаемых им информационных ресурсов, пересмотреть модель угроз информационной безопасности и предпринять меры по нейтрализации возможных уязвимостей.



При построении нечеткого вывода (рис. 3) в качестве входных переменных будут использоваться частота возникновения новых сообщений и уровень рейтинга авторов сообщений.



Рисунок 3 - Структура системы нечеткого вывода

Наполнению хакерских форумов новыми сообщениями характерны особенности, на основании которых возможно построение базы правил нечетких продукций. Так, при появлении новой угрозы информационной безопасности, участник форума, которому стало о ней известно, создает новую тему на форуме и оставляет сообщение. Другие участники форума оставляют в созданной теме сообщения, дополняющие или опровергающие предшествующие. В зависимости от степени важности информации, обсуждаемой в той или иной теме форума, различается внутренний рейтинг авторов сообщений. Как правило, при высокой значимости обсуждаемой информации в теме форума, высок и рейтинг авторов сообщений. Также закономерно увеличение частоты возникновения сообщений в теме форума, где обсуждается важная информация, особенно в начальной стадии.

В этом случае эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме эвристических правил (табл. 1).

Эта информация будет использоваться при построении базы правил системы нечеткого вывода.

Итак, в качестве одной из входных лингвистических переменных будет использоваться частота появления новых сообщений:  $\beta_1$  «частота появления сообщений», а в качестве второй входной лингвистической переменной  $\beta_2$  «уровень рейтинга авторов». В качестве выходной лингвистической переменной будет использоваться уровень угрозы информационной безопасности:  $\beta_3$  «вероятность возникновения угрозы информационной безопасности». Для сокращения записи правил будем использовать рассмотренные символические обозначения (таблица 2), при этом модификатор «очень» преобразован к значению отдельного терма.

Таблица 1 – Эмпирические правила функционирования хакерских форумов

№	Правило
1	Если частота появления сообщений на форуме очень высокая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень высокая.
2	Если частота появления сообщений на форуме высокая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности высокая.
3	Если частота появления сообщений на форуме средняя и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности средняя.
4	Если частота появления сообщений на форуме низкая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности низкая.
5	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
6	Если частота появления сообщений на форуме очень высокая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности высокая.
7	Если частота появления сообщений на форуме высокая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности средняя.
8	Если частота появления сообщений на форуме средняя и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности низкая.
9	Если частота появления сообщений на форуме низкая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
10	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
11	Если частота появления сообщений на форуме очень высокая и уровень рейтинга авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности средняя.
12	Если частота появления сообщений на форуме высокая и уровень рейтинга авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности низкая.
13	Если частота появления сообщений на форуме средняя и уровень рейтинга авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
14	Если частота появления сообщений на форуме низкая и уровень рейтинга авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
15	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга

	авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы информационной безопасности очень низкая.
--	---

Таблица 2 – Символические обозначения термов

№ п/п	Терм	Обозначение
1	Очень высокий	ОВ
2	Высокий	В
3	Средний	С
4	Низкий	Н
5	Очень низкий	ОН

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

Таблица 3 – Правила нечетких продукций

Правило 1:	ЕСЛИ «β1 есть ОВ»	И «β2 есть В»	ТО «β3 есть ОВ»
Правило 2:	ЕСЛИ «β1 есть В»	И «β2 есть В»	ТО «β3 есть В»
Правило 3:	ЕСЛИ «β1 есть С»	И «β2 есть В»	ТО «β3 есть С»
Правило 4:	ЕСЛИ «β1 есть Н»	И «β2 есть В»	ТО «β3 есть Н»
Правило 5:	ЕСЛИ «β1 есть ОН»	И «β2 есть В»	ТО «β3 есть ОН»
Правило 6:	ЕСЛИ «β1 есть ОВ»	И «β2 есть С»	ТО «β3 есть В»
Правило 7:	ЕСЛИ «β1 есть В»	И «β2 есть С»	ТО «β3 есть С»
Правило 8:	ЕСЛИ «β1 есть С»	И «β2 есть С»	ТО «β3 есть Н»
Правило 9:	ЕСЛИ «β1 есть Н»	И «β2 есть С»	ТО «β3 есть ОН»
Правило 10:	ЕСЛИ «β1 есть ОН»	И «β2 есть С»	ТО «β3 есть ОН»
Правило 11:	ЕСЛИ «β1 есть ОВ»	И «β2 есть Н»	ТО «β3 есть С»
Правило 12:	ЕСЛИ «β1 есть В»	И «β2 есть Н»	ТО «β3 есть Н»
Правило 13:	ЕСЛИ «β1 есть С»	И «β2 есть Н»	ТО «β3 есть ОН»
Правило 14:	ЕСЛИ «β1 есть Н»	И «β2 есть Н»	ТО «β3 есть ОН»
Правило 15:	ЕСЛИ «β1 есть ОН»	И «β2 есть Н»	ТО «β3 есть ОН»

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной будем использовать множество  $T_1 = \{\text{«очень высокая»}, \text{«высокая»}, \text{«средняя»}, \text{«низкая»}, \text{«очень низкая»}\}$  или в символическом виде  $T_1 = \{\text{ОВ}, \text{В}, \text{С}, \text{Н}, \text{ОН}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 4. В качестве терммножества второй лингвистической переменной будем использовать множество  $T_2 = \{\text{«высокий»}, \text{«средний»}, \text{«низкий»}\}$  или в символическом виде  $T_2 = \{\text{В}, \text{С}, \text{Н}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 5. В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной будем использовать множество  $T_3 = \{\text{«очень высокая»}, \text{«высокая»}, \text{«средняя»}, \text{«низкая»}, \text{«очень низкая»}\}$  или в символическом виде  $T_3 = \{\text{ОВ}, \text{В}, \text{С}, \text{Н}, \text{ОН}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 6.

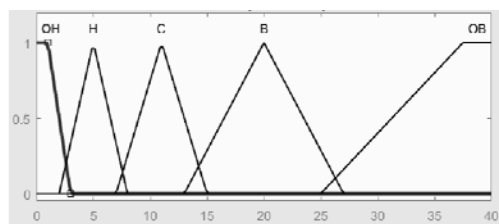


Рисунок 4 – График функций принадлежности термов для входной переменной «Частота появления сообщений»

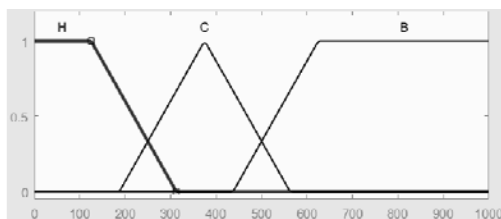


Рисунок 5 – График функций принадлежности термов для входной переменной «Уровень рейтинга авторов»

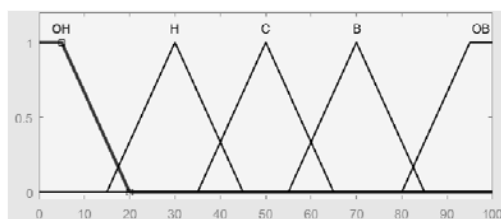


Рисунок 6 – График функций принадлежности термов для входной переменной «Вероятность возникновения угрозы информационной безопасности»

При этом частота появления сообщений измеряется в единицах в сутки, уровень рейтинга авторов - в единицах, вероятность возникновения угрозы – в процентах.

При выборе функций принадлежности входных переменных использовались результаты анализа сообщений форумов [hrc.name](http://hrc.name) и [grabberz.com](http://grabberz.com) в период с декабря 2009 года по настоящее время:

- всего создано: 30872 сообщения;
- средняя ежесуточная частота создания сообщений: 10,8 сообщений/сутки;
- максимальное количество сообщений в сутки: 98 сообщений/сутки;
- количество пользователей: 6264;
- максимальный рейтинг пользователя: 616;
- средний рейтинг пользователя: 46,6.

## 6 Пример нечеткого вывода

В качестве примера рассмотрим нечеткий вывод с использованием программного средства Fuzzy Logic Designer, являющегося компонентом MATLAB. Для этого задаются функции принадлежности входных переменных в соответствии с рисунками 4 и 5, выходной – рисунком 6. Нечеткий логический вывод строится по алгоритму Мамдани.

В данном случае, при частоте появления сообщений равной 20 сообщениям в сутки и суммарном рейтинге авторов равным 700, значение выходной переменной равно 70 процентам, что соответствует выводу о том, что вероятность возникновения угрозы информационной безопасности высокая (рис. 7). Полученный результат соответствует закономерностям функционирования хакерских форумов.

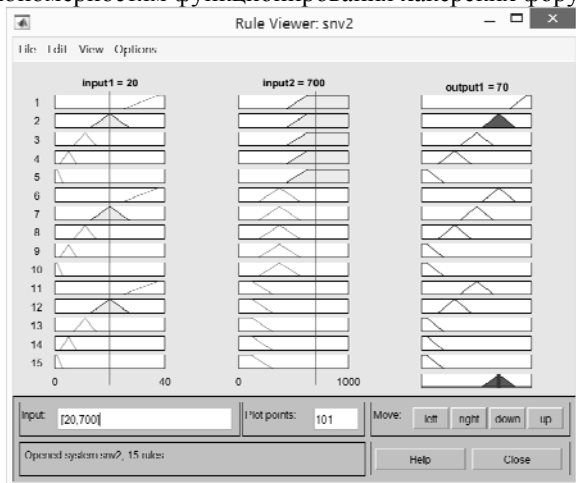


Рисунок 7 – Нечеткий логический вывод о вероятности возникновения угрозы информационной безопасности

## 7 Заключение

Таким образом, в настоящей статье представлен подход к решению задачи построения прогноза возникновения новых угроз информационной безопасности, путем нечеткого логического вывода, основанного на анализе потока текстовых сообщений хакерских форумов. Получаемые результаты могут быть использованы для оценки степени возникающих угроз информационной безопасности, принятия решения о необходимости пересмотра модели угроз и планирования мер по нейтрализации возможных уязвимостей.

## Список литературы

- [Kaspersky, 2015] Kaspersky Security Bulletin 2015 Электронный ресурс./ KasperskyLab ZAO, 2015 Режим доступа <http://www.securelist.com/>;
- [Symantec, 2015] Symantec Report on AttackKits and Malicious Websites-2015 Электронный ресурс./Symantec. Режим доступа: <http://scm.symantec.com>;
- [Trustware, 2015] TrustwareGlobalSecurityReport 2015 Электронный ресурс./Trustware, 2015. Режим доступа: <http://www.trustwave.com/GSR>;
- [Блинов А.М., 2010] Блинов А. М. Информационная безопасность : Учеб. пособие. Часть 1 / А. М. Блинов.—СПб.: СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.;
- [Гатчин Ю.А., 2010] Гатчин Ю.А., Сухостат В.В. Теория информационной безопасности и методология защиты информации. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. — 98 с.
- [Зайченко Ю.П., 2008] Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: Учеб. для вузов. – К.: «Издательский Дом «Слово», 2008. – 344 с.
- [Леоненков А.В., 2005] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – С-Пб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2005. – 716 с.
- [Усков А.А., 2004] Усков А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 6. – С. 7-13.

## FUZZY INFERENCE ON THE OCCURRENCE OF INFORMATION SECURITY THREATS

Poletaev V.S.

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk

The issue describes an approach to solving the problem of forecasting the emergence of new threats to information security, by fuzzy inference based on the analysis of the stream of hacker forums text messages.

**Keywords:** forecasting threats, fuzzy inference, information security, message flow, model of the forum.

## БАЗА ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ<sup>1</sup>

Захарова А.А. (*aaz@tpu.ru*)

Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского  
политехнического университета, Юрга

В работе представлена нечеткая продукционная база знаний, отражающая опыт, знания и суждения эксперта о внешней и внутренней среде предприятия при проведении SWOT-анализа. База знаний является частью системы поддержки принятия решений для стратегического управления предприятиями любого вида.

**Ключевые слова:** стратегическое управление, система поддержки принятия решений, база знаний, SWOT-анализ

### 1 Введение

В современных экономических условиях стратегическое управление предприятиями различных сфер деятельности в настоящее время является одним из условий их устойчивого развития. Высокая степень неопределенности при принятии стратегических решений, наличие неполной и неточной информации, сложность прогнозирования процессов, протекающих во внешней среде предприятия, обуславливают важную роль человеческого фактора в процессе принятия решений. Большая часть стратегических решений относятся к незапрограммированным, интуитивным и основанным на суждениях лица, принимающего решения (ЛПР). В связи с этим в процессе принятия стратегических решений возникает необходимость привлечения экспертов, работы с экспертной информацией, знаниями.

Создание систем поддержки принятия решений стратегического управления предприятиями (СППР СУП) позволяет расширить

---

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00299а.

возможности ЛПР при подготовке и обосновании решений, за счет применения научно обоснованных методов и моделей поддержки принятия решений, а также современных средств сбора и обработки информации, обеспечивающих инструментами организации работы ЛПР, аналитиков, экспертов. Таким образом, создание математического и программного обеспечения СППР СУП является актуальной задачей.

Несмотря на разнообразие задач, стоящих перед ЛПР в процессе стратегического управления, и их существенные отличия, связанные со сферой деятельности предприятий, их масштабом, уровнем и др., можно найти ряд типовых задач, которые не имеют отличий и решаются в процессе стратегического управления любого предприятия. Для таких задач целесообразно разработать универсальное математическое и программное обеспечение, что позволит создавать СППР СУП на основе имеющихся шаблонных решений.

## **2 Система поддержки принятия решений для стратегического управления предприятия на основе экспертных знаний**

В [Zakharova, 2016] представлена структура СППР, обеспечивающей поддержку ряда типовых задач принятия стратегических решений на основе экспертных знаний. На этапе стратегического анализа это: оценка текущего уровня факторов стратегического развития предприятия (внешней и внутренней среды), формализация суждений эксперта о взаимосвязях этих факторов, оценка важности этих факторов для стратегического развития предприятия. На этапе стратегического выбора типовой задачей является оценка альтернатив стратегического развития предприятия, а на этапе стратегического контроля – оценка успешности выполнения стратегии на основе системы целевых ориентиров.

В качестве базовых методов принятия решений для разработки универсальных моделей поддержки принятия решений выбраны нечеткие методы для этапов стратегического анализа и контроля, метод анализа иерархий для этапа стратегического выбора.

Разработан состав универсальных модулей СППР СУП, представляющих собой «конструктор» для изготовления экземпляров СППР для нужд стратегического управления предприятий любого вида, сферы деятельности. Основные модули: «Мониторинг факторов предприятия», «Организация работы с экспертами», «Редактор лингвистических переменных», «SWOT-анализ», «Оценка стратегических альтернатив (проектов)», «Оценка и контроль реализации стратегии. Модули имеют взаимосвязи, так, например, информация из модуля «Работа с экспертами» является входной для всех остальных модулей.



В данной статье будет представлена база знаний СППР СУП, являющаяся основой модуля «SWOT-анализ».

### **3 Обоснование использования базы знаний для поддержки принятия решений в ходе стратегического анализа**

Универсальным методом стратегического анализа является SWOT-анализ. Обращаясь к методике проведения SWOT-анализа, в первую очередь, следует отметить высокую насыщенность процесса принятия решений качественной экспертной информацией. При характеристике возможностей, угроз, слабых и сильных сторон эксперт употребляет оценки типа «высокий уровень», «низкая вероятность», «умеренное влияние» и т.п., связи между этими факторами эксперт устанавливает эвристически, отбор важных факторов также осуществляется путем эвристик. Результатом являются списки выявленных и проранжированных экспертным методом факторов среды, а также выявленные экспертом пары комбинаций факторов внешней и внутренней среды, которые могут быть использованы для дальнейшей разработки альтернатив стратегического развития (проектов, стратегий, мероприятий и т.п.).

То есть мы имеем дело с набором правил вывода и информацией о человеческом опыте, его знаниях и суждениях о внешней и внутренней среде предприятия, что, собственно говоря, и представляет собой базу знаний стратегического анализа предприятия (БЗ СА).

Анализ технологии проведения SWOT-анализа можно выделить следующие составляющие БЗ СА:

- информацию о стратегических факторах предприятия (возможностях, угрозах, слабых и сильных сторонах), причем они должны иметь качественные и количественные характеристики. Например, при характеристике такого фактора, как инфляция, мы должны знать не только факт, установленный экспертом в виде качественного описания («Низкая», «Высокая»), но и привязку к количественной шкале, то есть какой уровень инфляции является низким или высоким;
- правила вывода для определения важности факторов среды. Например, для определения важности учета возможностей предприятия используется матрица позиционирования возможностей по двум осям: вероятность реализации (низкая, средняя, высокая) и её влияние на предприятие (малое, умеренное, высокое);
- правила вывода для определения важности комбинаций факторов среды для каждого из возможных видов сочетаний по матрице SWOT.

#### 4 База знаний стратегического анализа предприятия

Информация о стратегических факторах предприятия представляется в базе знаний в виде лингвистических переменных. Редактирование лингвистических переменных осуществляется в модуле «Редактор лингвистических переменных». Для построения функций принадлежности используются три основных метода: попарных сравнений (для факторов, не имеющих универсальных измерительных свойств), на основе статистических данных (при необходимости опроса большого числа респондентов), на основе экспертных оценок параметров стандартных функций (для количественных факторов, не требующих высокой точности описания) [Захарова, 2005]. Набор методов может при необходимости дополняться. Лингвистические переменные позволяют сопоставлять качественным оценкам количественные и наоборот. На основе представленных в виде лингвистической переменной знаний, ЛПР может получить информацию об уровне и значимости стратегического фактора для любого входного значения (например, текущего или прогнозируемого).

Введем описание лингвистических переменных, представленных в БЗ СА (для каждой переменной приводится: обозначение, наименование, область определения, множество базовых значений).

$\beta_{O_P}$  – вероятность реализации возможности;  $O_P = [0,1]$ ;  $T_{O_P} = \{\text{низкая, средняя, высокая}\} = \{a_{O_{P_1}}, a_{O_{P_2}}, a_{O_{P_3}}\}$ ;

$\beta_O$  – степень влияния данной возможности,  $O$ ;  $T_O = \{\text{малое влияние, умеренное влияние, высокое влияние}\} = \{a_{O_1}, a_{O_2}, a_{O_3}\}$ ;

$\beta_{O_v}$  – значение данной возможности (показатель, характеризующий насколько важно учесть ее при разработке стратегических альтернатив);  $O_v = [0,100]$ ;  $T_{O_v} = \{\text{малое, среднее, большое}\} = \{a_{O_{v_1}}, a_{O_{v_2}}, a_{O_{v_3}}\}$ ;

$\beta_{T_P}$  – вероятность реализации угрозы;  $T_P = [0,1]$ ;  $T_{T_P} = \{\text{низкая, средняя, высокая}\} = \{a_{T_{P_1}}, a_{T_{P_2}}, a_{T_{P_3}}\}$ ;

$\beta_T$  – степень влияния угрозы,  $T$ ;  $T_T = \{\text{легкое, тяжелое, критическое, разрушительно влияние}\} = \{a_{T_1}, a_{T_2}, a_{T_3}, a_{T_4}\}$ ;

$\beta_{T_v}$  – значение данной угрозы;  $T_v = [0,100]$ ;  $T_{T_v} = \{\text{несущественное, малое, среднее, большое}\} = \{a_{T_{v_1}}, a_{T_{v_2}}, a_{T_{v_3}}\}$ ;

$\beta_S$  – интенсивность сильной стороны,  $S$ ;  $T_S = \{\text{низкая, средняя, высокая}\} = \{a_{S_1}, a_{S_2}, a_{S_3}\}$ ;

$\beta_{W_S}$  – интенсивность слабой стороны,  $W_S$ ;  
 $T_{W_S} = \{\text{низкая, средняя, высокая}\} = \{a_{W_{S1}}, a_{W_{S2}}, a_{W_{S3}}\}$ ;

$\beta_{C_O}$  – важность учета комбинации факторов среды с областью определения  $C_O = [0,100]$  и множеством базовых значений  $T_{C_O} = \{\text{малая, средняя, большая}\} = \{a_{C_{O1}}, a_{C_{O2}}, a_{C_{O3}}\}$  для квадратов матрицы SWOT с возможностями;

$\beta_{C_t}$  – важность учета комбинации факторов среды с областью определения  $C_t = [0,100]$  и множеством базовых значений  $T_{C_t} = \{\text{несущественная, малая, средняя, большая}\} = \{a_{C_{t1}}, a_{C_{t2}}, a_{C_{t3}}, a_{C_{t4}}\}$  для квадратов матрицы SWOT с угрозами.

Для представления суждений эксперта в ходе оценки важности факторов среды для учета в стратегии развития предприятия, а также важности комбинаций среды, в базе знаний используется продукционная модель представления знаний. Информация о значениях выходных лингвистических переменных для заданных значений входных хранится в виде систем нечетких высказываний. Вывод осуществляется на основе нечеткого правила *modus ponens* [Малышев, 1991].

Для оценки возможностей в базе знаний представлена следующая система высказываний [Мицель, 2005]:

$$\tilde{L}^{(1)} = \begin{cases} \tilde{L}_1^{(1)}: < \text{ЕСЛИ } E_{11} \text{ ИЛИ } E_{12} \text{ ИЛИ } E_{13} \text{ ТО } \beta_{O_v} \text{ есть } a_{O_{v1}} >; \\ \tilde{L}_2^{(1)}: < \text{ЕСЛИ } E_{21} \text{ ИЛИ } E_{22} \text{ ИЛИ } E_{23} \text{ ТО } \beta_{O_v} \text{ есть } a_{O_{v2}} >; \\ \tilde{L}_3^{(1)}: < \text{ЕСЛИ } E_{31} \text{ ИЛИ } E_{32} \text{ ИЛИ } E_{33} \text{ ТО } \beta_{O_v} \text{ есть } a_{O_{v3}} >. \end{cases}$$

где высказывания  $E_{ji}$  – это высказывания вида  $\langle \beta_{O_p} \text{ есть } a_{O_{pk}} \text{ и } \beta_O \text{ есть } a_{O_l} \rangle$ , где  $k = [1,2,3]$ ,  $l = [1,2,3]$  – номера базовых значений соответственно лингвистических переменных  $\beta_{O_p}$  и  $\beta_O$ .

Каждое  $E_{ji}$  описывает  $i$ -ю входную ситуацию, для которой выходная лингвистическая переменная  $\beta_{O_v}$  примет значение  $a_{O_{vj}}$ . Удобнее представить все возможные ситуации в табличной форме, где по вертикали и горизонтали представлены значения входных переменных, а на их пересечении – соответствующие им значения выходной переменной (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица высказываний для позиционирования возможностей

	$a_{O_3}$	$a_{O_2}$	$a_{O_1}$
$a_{O_{p3}}$	$a_{O_{v3}}$	$a_{O_{v2}}$	$a_{O_{v1}}$

$a_{Op_2}$	$a_{Ov_3}$	$a_{Ov_2}$	$a_{Ov_1}$
$a_{Op_1}$	$a_{Ov_2}$	$a_{Ov_1}$	$a_{Ov_1}$

Для остальных фрагментов базы знаний далее опустим математическое описание и сразу представим описание правил в виде матрицы (таблицы 2-6).

Таблица 2 – Матрица высказываний для позиционирования угроз

	$a_{T_4}$	$a_{T_3}$	$a_{T_2}$	$a_{T_1}$
$a_{Tp_3}$	$a_{Tv_4}$	$a_{Tv_4}$	$a_{Tv_3}$	$a_{Tv_2}$
$a_{Tp_2}$	$a_{Tv_4}$	$a_{Tv_3}$	$a_{Tv_2}$	$a_{Tv_1}$
$a_{Tp_1}$	$a_{Tv_3}$	$a_{Tv_2}$	$a_{Tv_1}$	$a_{Tv_1}$

Таблица 3 – Матрица высказываний оценки комбинаций факторов в квадранте матрицы SWOT «Сила - Возможность»

	$a_{Ov_3}$	$a_{Ov_2}$	$a_{Ov_1}$
$a_{S_3}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_2}$
$a_{S_2}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_2}$	$a_{CO_1}$
$a_{S_1}$	$a_{CO_2}$	$a_{CO_1}$	$a_{CO_1}$

Таблица 4 – Матрица высказываний оценки комбинаций факторов в квадранте матрицы SWOT «Слабость - Возможность»

	$a_{Ov_3}$	$a_{Ov_2}$	$a_{Ov_1}$
$a_{WS_3}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_2}$
$a_{WS_2}$	$a_{CO_3}$	$a_{CO_2}$	$a_{CO_1}$
$a_{WS_1}$	$a_{CO_2}$	$a_{CO_1}$	$a_{CO_1}$

Таблица 5 – Матрица высказываний оценки комбинаций факторов в квадранте матрицы SWOT «Сила - Угроза»

	$a_{Tv_4}$	$a_{Tv_3}$	$a_{Tv_2}$	$a_{Tv_1}$
$a_{S_3}$	$a_{Ct_4}$	$a_{Ct_4}$	$a_{Ct_3}$	$a_{Ct_2}$
$a_{S_2}$	$a_{Ct_4}$	$a_{Ct_3}$	$a_{Ct_2}$	$a_{Ct_1}$
$a_{S_1}$	$a_{Ct_3}$	$a_{Ct_2}$	$a_{Ct_1}$	$a_{Ct_1}$

Таблица 6 – Матрица высказываний оценки комбинаций факторов в квадранте матрицы SWOT

	$a_{Tv_4}$	$a_{Tv_3}$	$a_{Tv_2}$	$a_{Tv_1}$
--	------------	------------	------------	------------

$a_{W_{S_3}}$	$a_{C_{t_4}}$	$a_{C_{t_4}}$	$a_{C_{t_3}}$	$a_{C_{t_2}}$
$a_{W_{S_2}}$	$a_{C_{t_4}}$	$a_{C_{t_3}}$	$a_{C_{t_2}}$	$a_{C_{t_1}}$
$a_{W_{S_1}}$	$a_{C_{t_3}}$	$a_{C_{t_2}}$	$a_{C_{t_1}}$	$a_{C_{t_1}}$

#### 4 Заключение

Разработанная база знаний стратегического анализа позволяет формализовать знания эксперта о внешней и внутренней среде предприятия. Используя эту базу знаний, ЛПР может получить количественные оценки важности факторов среды предприятия их сочетаний на основе качественных экспертных знаний и суждений. Полученные оценки позволяют выявить проблемные вопросы, которые обязательные должны быть учтены при генерировании стратегических альтернатив развития предприятия. БЗ СА является универсальным инструментом, может использоваться при разработке СППР СУП для предприятий любого вида. Наполнение БЗ СА фактами предметной области осуществляется путем создания конкретных интерпретаций лингвистических переменных, каждой из которых будет относиться к одному и видов, рассмотренных выше.

#### Список литературы

- [Захарова и др., 2005] Захарова А.А., Мицель А.А. Нечеткие модели оценки факторов социально-экономического развития города // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2005. № 4 (12). с. 20-26
- [Малышев и др., 1991] Малышев Н.Г., Бернштейн Л.С., Боженьюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР Оценка надежности и оптимизация качественной интерпретации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.: ил.
- [Мицель и др., 2005] Мицель А.А., Захарова А.А. Применение нечетких лингвистических моделей при разработке стратегии развития муниципального образования // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т.308. №4. с.178-182
- [Zakharova, 2016] Zakharova, A.A., Telipenko E.V., Ostanin V.V. Developing the structure and structural patterns for a system to support strategic decision making using expert knowledge // Proc. 11th International Forum on Strategic Technology, Novosibirsk. 2016.. - V.2 - PP. 497-501.

# KNOWLEDGE BASE FOR THE STRATEGIC MANAGEMENT DECISION SUPPORT SYSTEM OF ENTERPRISE

Zakharova A.A. (*aaz@tpu.ru*)

Yurga Institute of Technology, Tomsk Polytechnic  
University affiliate, Yurga

The work presents fuzzy production-rule system, reflecting the experience, knowledge and judgments of the expert on the external and internal environment of the enterprise during SWOT analysis. The knowledge base is part of a decision support system for the strategic management of enterprises of any kind.

**Keywords:** strategic management, decision support system, knowledge base, SWOT-analysis.

## РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОНТЕКСТОВ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ<sup>1</sup>

Филиппов А.А. (*al.filippov@ulstu.ru*)

Мошкин В.С. (*postforvadim@yandex.ru*)

Ярушкина Н.Г. (*jng@ulstu.ru*)

Гуськов Г.Ю. (*guskovgleb@gmail.com*)

Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В работе описывается процесс разработки нечеткой базы знаний (БЗ), содержимое которой формируется в результате анализа контекстов проблемной области (ПрО). В данном случае под контекстом понимается некоторая «точка зрения» на ПрО и ее особенности. В качестве основы для хранения содержимого БЗ в виде прикладной онтологии используется графовая база данных (БД). Представлена попытка реализовать механизм логического вывода по содержимому графовой БД. Для упрощения работы с БЗ используется механизм динамической генерации экранных форм интерфейса пользователя.

**Ключевые слова:** база знаний, проблемная область, прикладная онтология, логический вывод, контекст

### 1 Введение

Современное постиндустриальное общество оперирует огромными массивами информации как в повседневной, так и в профессиональной деятельности. Подобные объемы информации приводят к трудностям при принятии различного рода решений в рамках жестких временных ограничений [Бова и др., 2010, Черняховская и др., 2011]. Для решения данной проблемы применяются разнообразные программные средства автоматизации деятельности человека. Однако, для эффективной работы таких средств необходима их адаптация к особенностям конкретной проблемной области (ПрО) и ее контекстам [Вагин и др., 2008, Гаврилова,

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-732054 р\_офи\_м).

2003, Загорулько, 2007, Карабач, 2014, Смирнов, 2012, Тузовский, 2007, Филиппов и др., 2016]. Таким образом, «обученные» программные средства автоматизации решают поставленные задачи более эффективно, но требуют значительных ресурсов (человеческих и временных) на обучение.

В рамках данной работы предпринята попытка построения нечеткой базы знаний (БЗ), содержимое которой представлено в виде прикладной онтологии. В качестве основных требований к рассматриваемой БЗ можно выделить следующие пункты (рисунок 1):

адаптация к особенностям ПрО с учетом контекстов;

надежность и быстродействие хранилища онтологии;

наличие механизма логического вывода;

наличие средств упрощения работы с БЗ для неподготовленных пользователей;

наличие механизмов импорта данных из внешних информационных ресурсов.

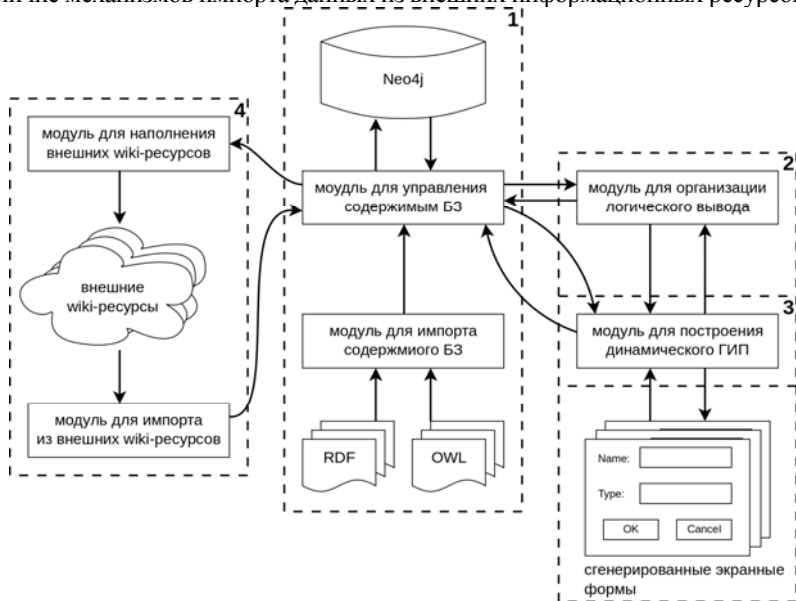


Рисунок 1 – Архитектурная схема нечеткой БЗ

Как видно из рисунка 1, БЗ состоит из следующих подсистем:

1. Хранилище онтологии: Neo4j, модуль для управления содержимым БЗ, модуль для импорта онтологий в формате RDF или OWL.
2. Подсистема логического вывода: модуль для организации логического вывода, модуль для динамического построения экранных форм пользовательского интерфейса.



3. Подсистема взаимодействия с пользователями: модуль для динамического построения экранных форм пользовательского интерфейса.
4. Подсистема для импорта данных из внешних информационных ресурсов: модуль для импорта данных из внешних wiki-ресурсов, модуль для наполнения внешних wiki-ресурсов.

## 2 Организация хранилища онтологий нечеткой БЗ

Онтология – модель представления ПрО в виде семантической паутины (графа) [Мошкин и др., 2015-1, Тарасов и др., 2012].

В качестве основы хранилища онтологий рассматриваемой БЗ используется графо-ориентированная система управления базами данных (ГСУБД) Neo4j. Данная ГСУБД в настоящее время является одной из самых популярных графовых баз данных и обладает следующими преимуществами:

1. Наличие свободной и бесплатной community версии.
2. Нативный формат для хранения данных.
3. Один экземпляр Neo4j может работать с графами, содержащими миллиарды узлов и отношений.
4. Наличие графо-ориентированного языка запросов Cypher.
5. Наличие поддержки транзакций.

Также ГСУБД Neo4j была выбрана для хранения описания ПрО в виде прикладной онтологии, так как онтология фактически является графом. При этом необходимо лишь ограничить набор узлов и отношений графа в которые будет транслироваться онтология, описанные с помощью языков RDF и OWL.

Для определения сущностей, в которые будут транслироваться онтологии в процессе импорта, было решено использовать результат операции пересечения сущностей языков RDF и OWL.

Контекст онтологии – некоторое состояние онтологии, полученное в процессе версионирования, либо формирования онтологии с использованием различных точек зрения («points-of-view»).

Формально онтологию нечеткой БЗ можно представить в виде следующего выражения:

$$O = \langle T, C^{T_i}, I^{T_i}, P^{T_i}, S^{T_i}, F^{T_i}, R^{T_i} \rangle, i = \overline{1, t} \quad (1)$$

где  $t$  – количество контекстов онтологии нечеткой БЗ;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_t\}$  – множество контекстов онтологии нечеткой БЗ;

$C^{T_i} = \{C_1^{T_i}, C_2^{T_i}, \dots, C_n^{T_i}\}$  – множество классов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$I^{T_i} = \{I_1^{T_i}, I_2^{T_i}, \dots, I_n^{T_i}\}$  – множество объектов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$P^{Ti} = \{P_1^{Ti}, P_2^{Ti}, \dots, P_n^{Ti}\}$  – множество свойств классов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$S^{Ti} = \{S_1^{Ti}, S_2^{Ti}, \dots, S_n^{Ti}\}$  – множество состояний объектов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$F^{Ti} = \{F_1^{Ti}, F_2^{Ti}, \dots, F_n^{Ti}\}$  – множество состояний объектов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$R^{Ti}$  – множество отношений онтологии в рамках  $i$ -о контекста следующего вида:

$$R^{Ti} = \{R_C^{Ti}, R_I^{Ti}, R_P^{Ti}, R_S^{Ti}, R_F^{Ti}\},$$

где  $R_C^{Ti}$  – множество отношений, формирующих иерархию классов онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$R_I^{Ti}$  – множество отношений, определяющих связь вида «класс-объект» онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$R_P^{Ti}$  – множество отношений, определяющих связь вида «класс-свойство» онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$R_S^{Ti}$  – множество отношений, определяющих связь вида «объект-состояние» онтологии в рамках  $i$ -о контекста;

$R_F^{Ti}$  – множество отношений, сгенерированных на основе логических правил онтологии в рамках  $i$ -о контекста.

В основе онтологии нечеткой БЗ лежат принципы, схожие с парадигмой объектно-ориентированного программирования:

классы онтологии представляют собой концепты ПрО;

классы могут иметь свойства, класс-потомок наследует свойства класса-родителя;

объекты онтологии описывают экземпляры концептов ПрО;

конкретные значения для свойств объектов, унаследованных из родительского класса, определяются состояниями;

логические правила используются для реализации функций логического вывода по содержанию нечеткой БЗ.

### 3 Организация логического вывода по содержанию нечеткой БЗ

Логический вывод – процесс рассуждений от предпосылок к заключению. Для осуществления функции логического вывода используется специализированный класс программных средств – ризонеры (reasoner). Ризонеры формируют логические следствия на основе множества утверждений, фактов и аксиом [Махортов, 2016, Мошкин и др., 2015-2].

Наиболее популярными в настоящий момент ризонерами являются:

Pellet;

FaCT++;  
Hermit;  
Racer и т. д.

Перечисленные выше ризонеры активно используются при разработке интеллектуальных программных средств, однако, ГСУБД Neo4j не предполагает возможности использования подобных ризонеров по умолчанию. Таким образом, возникает необходимость в разработке механизма логического вывода по содержимому нечеткой БЗ.

В настоящее время для записи логических правил применяется язык Semantic Web Rule Language (SWRL). Логическое правило на языке SWRL имеет вид:

$\text{hasParent}(?a, ?b) \ \& \ \text{hasBrother}(?b, ?c) \Rightarrow \text{hasUncle}(?a, ?c)$   
 $\text{hasChild}(?b, ?a) \ \& \ \text{hasBrother}(?b, ?c) \Rightarrow \text{hasUncle}(?a, ?c)$

Представленные выше правила на языке SWRL описывают условия, при которых объект  $a$  имеет родственную связь вида «племянник-дядя» с объектом  $c$ .

Формально логическое правило онтологии нечеткой БЗ может быть представлено в следующем виде:

$F^{Ti} = \langle A^{Tree}, A^{SWRL}, A^{Cypher} \rangle$ ,

где  $T_i$  –  $i$ -й контекст онтологии нечеткой БЗ;

$A^{Tree}$  – древовидное представление логического правила  $F^{Ti}$ ;

$A^{SWRL}$  – SWRL-представление логического правила  $F^{Ti}$ ;

$A^{Cypher}$  – Cypher представление логического правила  $F^{Ti}$ .

Древовидное представление  $A^{Tree}$  логического правила  $F^{Ti}$  имеет вид:

$A^{Tree} = \langle Ant, Cons \rangle$ ,

где  $Ant = Ant_1 \Theta Ant_2 \Theta \dots Ant_n$  – антецедент (условие) логического правила  $F^{Ti}$ ;

$\Theta \in \{AND, OR\}$  – множество допустимых логических операций между атомами антецедента;

$Cons$  – консеквент (следствие) логического правила  $F^{Ti}$ .

На рисунке 2 представлен иллюстративный пример древовидного представления логического правила, описывающего родственную связь вида «племянник-дядя».

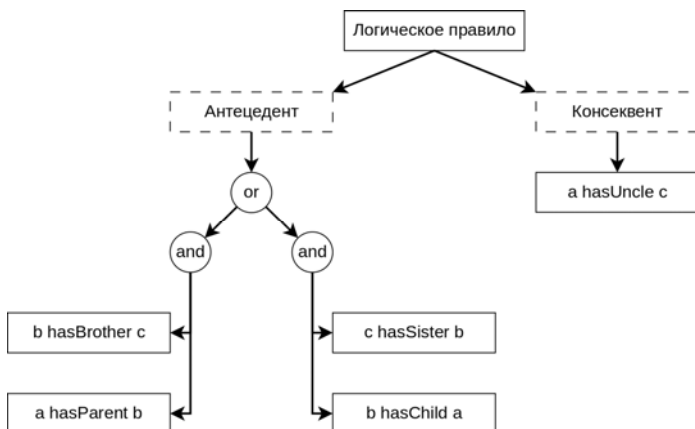


Рисунок 2 – Иллюстративный пример древовидного представления логического правила

Древовидное представление логического правила, представленное на рисунке 2, транслируется в следующее SWRL представление:

`hasParent(?a,?b) & hasBrother(?b,?c) & => hasUncle(?a,?c)`

`hasChild(?b,?a) & hasSister(?c,?b) => hasUncle(?a,?c),`

и следующее Cypher представление:

`MATCH (a:Object)-[:RANGE]-(s:Statement{name:"hasParent"})-[:DOMAIN]->(b:Object)`

`MATCH (b:Object)-[:RANGE]-(s1:Statement{name:"hasBrother"})-[:DOMAIN]->(c:Object)`

`MERGE (a)-[:RANGE]-(s2:Statement{name:"hasUncle"})-[:DOMAIN]->(c)`

`MATCH (b:Object)-[:RANGE]-(s:Statement{name:"hasChild"})-[:DOMAIN]->(a:Object)`

`MATCH (c:Object)-[:RANGE]-(s1:Statement{name:"hasSister"})-[:DOMAIN]->(b:Object)`

`MERGE (a)-[:RANGE]-(s2:Statement{name:"hasUncle"})-[:DOMAIN]->(c).`

Таким образом, при импорте в БЗ логических правил на языке SWRL, данные правила транслируются в их древовидное представление. Наличие древовидного представления логического правила позволяет на его основе формировать как SWRL представление логического правила, так и Cypher представление. При использовании Cypher представления логического правила между сущностями онтологии нечеткой БЗ, удовлетворяющими атомам антецедента логического правила, формируются отношения

специального типа. Сформированные подобным образом отношения позволяют организовать логический вывод по содержимому нечеткой БЗ.

#### **4 Построение графического интерфейса пользователя на основе содержимого нечеткой БЗ**

Для упрощения работы с БЗ неподготовленных пользователей и реализации функции контроля введенных пользователем данных используется механизм динамического построения графического интерфейса пользователя (ГИП) [Грибова и др., 2006].

Для решения задачи построения ГИП на основе содержимого нечеткой БЗ необходимо сопоставить сущности онтологии нечеткой БЗ с элементами построения ГИП.

Формальную модель ГИП можно представить в виде следующего выражения:

$$UI = \langle L, C, I, P, S \rangle, \quad (2)$$

где  $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$  – множество графических компонентов ГИП (например, ListBox, TextBox, ComboBox и т.п.);

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  – множество классов онтологии нечеткой БЗ;

$I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  – множество объектов онтологии нечеткой БЗ;

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  – множество свойств классов онтологии нечеткой БЗ;

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$  – множество состояний объектов онтологии нечеткой БЗ.

Для построения ГИП на основе содержимого нечеткой БЗ используется следующая функция:

$$F(O) = \{C^{Ti}, I^{Ti}, P^{Ti}, S^{Ti}, F^{Ti}, R^{Ti}\} \rightarrow \{L, C, I, P, S\},$$

где  $\{C^{Ti}, I^{Ti}, P^{Ti}, S^{Ti}, F^{Ti}, R^{Ti}\}$  – множество сущностей онтологии нечеткой БЗ, представленной выражением 1, в рамках  $i$ -о контекста;

$\{L, C, I, P, S\}$  – множество сущностей ГИП нечеткой БЗ, представленного выражением 2.

Таким образом, содержимое нечеткой БЗ отображается на множество компонентов ГИП, что позволяет упростить работу с БЗ для пользователя, не обладающего навыками в области онтологического анализа и инженерии знаний, а также контролировать логическую целостность вводимых пользователем данных, что приводит к снижению количества потенциальных ошибок ввода.

#### **5 Взаимодействие нечеткой БЗ с внешними wiki-ресурсами**

В настоящее время для организации корпоративных баз знаний используются wiki-технологии. Необходимо решить задачу импорта содержимого подобных wiki-ресурсов в нечеткую БЗ [Шестаков, 2011,

Suchanek et al., 2007]. Таблица 1 содержит результат сопоставления сущностей онтологии нечеткой БЗ с сущностями wiki-ресурсов.

Таблица 1 – Соответствие сущностей онтологии нечеткой БЗ и wiki-ресурсов

Сущность онтологии нечеткой БЗ	Сущность wiki-ресурса
Класс	Категория
Подкласс	Подкатегория
Объект	Страница
Свойства классов	Элементы infobox (свойства)
Состояния объектов	Элементы infobox (значения)
Отношения	Гиперссылки

Таким образом, появляется возможность импорта содержимого внешних wiki-ресурсов для первоначального заполнения содержимого БЗ. Также существует возможность обратного процесса – генерации wiki-ресурсов на основе содержимого нечеткой БЗ.

## 6 Заключение

Таким образом, применение нечетких баз знаний, хранимых в ГСУБД, в процессе поддержки принятия решений предполагает наличие определенного набора механизмов, позволяющих максимально автоматизировать процесс обучения БЗ и упростить работу специалистов с БЗ:

- организация логического вывода по содержимому нечеткой БЗ посредством трансляции SWRL-правил в Cypher-структуры;

- построение графического интерфейса пользователя на основе содержимого нечеткой БЗ;

- автоматизированный импорт знаний из внутрикорпоративных и внешних wiki-ресурсов.

Применение контекстного подхода к хранению знаний повышает эффективность использования предметных онтологий, позволяя адаптировать БЗ не только под особенности описываемой проблемной области, но и под требования специалистов, предоставляя им удобный в использовании программный инструментарий, динамически изменяемый в зависимости от содержимого БЗ.

## Список литературы

[Бова и др., 2010] Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В. Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений // Известия ЮФУ. 2010. № 108(7).

- [Вагин и др., 2008] Вагин В.Н., Михайлов И.С. Разработка метода интеграции информационных систем на основе метамоделирования и онтологии предметной области // Программные продукты и системы. 2008. № 1.
- [Гаврилова, 2003] Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем // Новости искусственного интеллекта. 2003. № 2.
- [Грибова и др., 2006] Грибова В.В., Клещев А.С. Управление проектированием и реализацией пользовательского интерфейса на основе онтологий // Проблемы управления. 2006. № 2.
- [Загорулько, 2007] Загорулько Ю.А. Построение порталов научных знаний на основе онтологии // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. № S2.
- [Карабач, 2014] Карабач А.Е. Системы интеграции информации на основе семантических технологий // Наука, техника и образование. 2014. № 2(2).
- [Махортов, 2016] Махортов С.Д. Об алгебраической модели распределенной продукционной системы // Матер. пятнадцатой нац. конф. по ИИ с междунар. участием «КИИ-2016». – Смоленск, 2016. – Т. 1. – С. 64–72.
- [Мошкин и др., 2015-1] Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Методики построения нечетких онтологий сложных предметных областей // Матер. пятой междунар. научн.-техн. конф. «OSTIS-2015». – Минск, 2015. – С. 401–406.
- [Мошкин и др., 2015-2] Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Логический вывод на основе нечетких онтологий // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. Т1. – М.: Физматлит, 2015. – С. 259–267.
- [Смирнов, 2012] Смирнов С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. 2012. № 2.
- [Тарасов и др., 2012] Тарасов В.Б., Калущая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Матер. второй междунар. научн.-техн. конф. «OSTIS-2012». – Минск, 2012. – С. 267–278.
- [Тузовский, 2007] Тузовский А.Ф. Разработка систем управления знаниями на основе единой онтологической базы знаний // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 2.
- [Филиппов и др., 2016] Филиппов А.А., Мошкин В.С., Шалаев Д.О., Ярушкина Н.Г. Единая онтологическая платформа интеллектуального анализа данных // Материалы VI международной научно-технической конференции OSTIS-2016, Минск, Республика Беларусь, 2016.
- [Черняховская и др., 2011] Черняховская Л.Р., Федорова Н.И., Низамутдинова Р.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений в оперативном управлении деловыми процессами предприятия // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. Т 15. № 42(2).
- [Шестаков, 2011] Шестаков В.К. Разработка и сопровождение информационных систем, базирующихся на онтологии и Wiki-технологии // Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2011, Воронеж, Россия, 2011.

[Suchanek et al., 2007] Suchanek F.M., Kasneci G., Weikum G. YAGO: A Core of Semantic Knowledge Unifying WordNet and Wikipedia // In Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web, USA. 2007.

## DEVELOPMENT A FUZZY KNOWLEDGE BASIS BASED ON THE ANALYSIS OF DOMAIN CONTEXTS

Filippov A.A. (*al.filippov@ulstu.ru*)  
Moshkin V.S. (*postforvadim@yandex.ru*)  
Yarushkina N.G. (*jng@ulstu.ru*)  
Guskov G.Yu. (*guskovgleb@gmail.com*)  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The paper describes the process of developing a fuzzy knowledge base (KB), the content of which is formed as a result of the analysis of the contexts of the problem area (PR). In this case, the context is understood as a certain "point of view" on the PR and its features. A graph database (DB) is used as the basis for storing the contents of the KB in the form of an applied ontology. An attempt is made to implement the mechanism of logical inference by the contents of a graph database. To simplify the work with the KB, the mechanism of dynamic generation of the screen forms of the user interface is used.

**Keywords:** knowledge base, problem area, applied ontology, inference, context.



## СЕКЦИЯ 4 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

УДК 004.415.2

### АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ<sup>1</sup>

Ярушев С.А. (*sergey.yarushev@icloud.com*)  
Государственный университет «Дубна», Институт  
Системного Анализа и Управления, Дубна

Аверкин А.Н. (*averkin2003@inbox.ru*)  
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына  
Федерального исследовательского центра  
«Информатика и управление» РАН, Москва

Федотова А.В. (*afedotova.bmstu@gmail.com*)  
Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана, Москва

В работе рассматривается задача построения гибридной системы прогнозирования временных рядов на основе нечетких когнитивных карт и нейронных сетей. Подобный подход позволяет учитывать, как количественные, так и качественные характеристики временного ряда. Для полноты картины приводятся особенности нечетких когнитивных карт и их применение в задачах прогнозирования временных рядов. Также, представлен разработанный генетический алгоритм обучения нечетких когнитивных карт, позволяющий избежать трудоемкой задачи ручной настройки когнитивной карты.

**Ключевые слова:** временные ряды, нечеткие когнитивные карты, нейронные сети, прогнозирование, анализ временных рядов, нечеткие системы.

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-01558 и № 17-37-50013).

## 1 Введение

Прогнозирование является одним из наиболее важных моментов в принятии управленческих и организационных решений в большинстве сфер человеческой деятельности. Качественное прогнозирование процессов, будь то экономические процессы внутри государства или маленькой компании, социальные процессы и многие другие, позволяет принимать эффективные и своевременные решения, а также накапливать опыт, который в дальнейшем позволит повысить качество и самого прогноза. фундаментальное значение для многих процессов принятия решений в планировании, разработке стратегий, построении политики, а также в управлении поставками и ценах акций. Как таковое, прогнозирование является областью, в которую было вложено немало усилий в прошлом. Так же, оно остается важной и активной областью человеческой деятельности в настоящем и продолжит развиваться в будущем. Обзор исследовательских потребностей в прогнозировании был представлен работе Армстронга [Armstrong, 1988].

Стремительное развитие информационных технологий и повсеместное внедрение их во все большее количество сфер человеческой деятельности позволяет получать данные о развитии широчайшего спектра процессов, нуждающихся в последующем анализе и прогнозировании. Ежедневно накапливается огромное количество данных, включающих себя экономические показатели, производственные и другие показатели, которое существенно увеличивает объем входных данных, необходимых для задачи прогнозирования. Но, в то же время, растут и требования к точности прогнозирования. Вместе с тем, не смотря на огромное количество информации, растет степень нелинейности, нелогичности и зашумленности данных. Кризисные явления, современная политическая и экономическая ситуации в мире влекут за собой глобальные изменения во всех сферах деятельности человека, что существенно затрудняет прогнозирование временных рядов на основе лишь только исторических данных.

В развитии и будущих изменениях временных рядов имеет место рефлексивность между событиями, их участниками и собственно прогнозируемым процессом (временным рядом), между исследователем и исследуемым процессом [Лефевр, 1965]. Теория рефлексивности в экономическом мире говорит о том, что возникшая ситуация действует на поведение самих участников процесса, а их мышление и поведение действует на развитие ситуации, участниками которого они являются [Soros, 2003]. Понятно, что пользуясь одним лишь инструментом прогнозирования временных рядов, сколь угодно мощным бы он не был, невозможно отразить и учесть ситуацию и события, воздействующие на исследуемый процесс, так как допустим нейронная сеть работает с

историческими данными. Практическим выходом из положения является разработка таких методов, которые бы могли оперировать как с причинно-следственными отношениями между событиями и прогнозируемым процессом, а также с числовыми значениями временного ряда, его историческими данными. Поэтому целесообразна разработка гибридной системы прогнозирования, способной оперировать как качественными данными, так и количественными.

В данной работе предлагается новая гибридная модель прогнозирования временных рядов, основанная на нечетких реляционных когнитивных картах и гибридной нейро-нечеткой сети с регрессионным анализом.

## **2 Система прогнозирования временных рядов**

Разработанная система прогнозирования базируется на модулярной архитектуре, придающей системе дополнительную устойчивость, даже если один из модулей выходит из строя, остальные модули продолжают выполнять свою работу.

Сама система имеет три основных модуля, отвечающих за задачу прогнозирования. Гибридная нейро-нечеткая сеть, выполняет прогноз временного ряда на основе численных показателей и дает нам, так называемый количественный прогноз, результаты которого проходят через систему верификации (оценки адекватности прогноза), если прогноз соответствует необходимой точности, то он передается на следующий модуль. Параллельно с нейро-нечеткой сетью, работает модуль с нечеткой когнитивной картой, который получает на вход данные о событийном влиянии на временной ряд, строится когнитивная карта, в которой учитываются все факторы влияния на конкретный прогнозируемый показатель. На выходе когнитивная карта дает нам прогноз с вероятностью его выполнения, то есть, с консонансом фактора, который говорит нам, выполнится прогноз или нет. Далее все данные, полученные с данных модулей поступают на третий модуль, работающий на основе нейронной сети, который агрегирует информацию, полученную с предыдущих модулей и выдает итоговый прогноз. На рисунке 1 представлена схема системы прогнозирования.

Далее, более подробно остановимся именно на прогнозировании на основе нечетких когнитивных карт и их обучении, так как прогнозам на нейро-нечетких сетях посвящено достаточно большое количество исследований [Yarushev, 2016], с когнитивными картами ситуация немного иная.

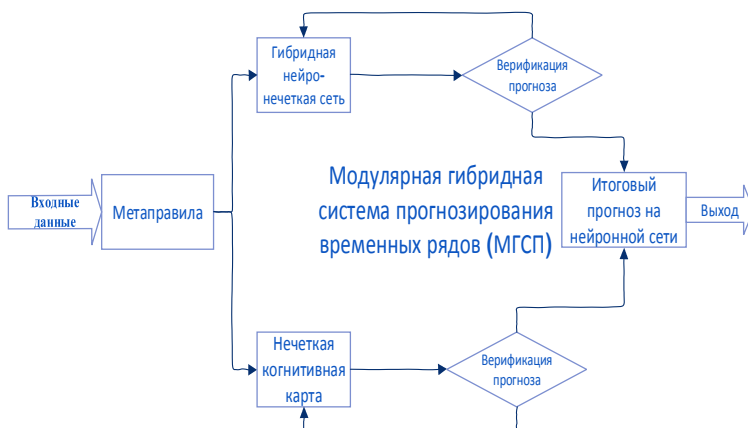


Рисунок 1 – Разработанная система прогнозирования временных рядов

### 3 Прогнозирование временных рядов и нечеткие когнитивные карты

Временным рядом управляют две основные силы – время и события, влияющие на изменение с течением времени значений временного ряда. Большинству подобных событий характерна некоторая неопределенность. Каждому значению временного ряда можно поставить в соответствие нечеткую переменную с некой функцией принадлежности. В этой связи, наибольший интерес для нашего исследования представляют методы, основанные на теории нечетких множеств. Лотфи Заде в 1965 году ввел понятие нечеткого множества, благодаря которому можно описывать качественные, нечеткие понятия и знания об окружающем мире, а в дальнейшем оперировать ими для получения новой информации [Беллман, 1976]. Применение данного понятия позволяет нам формализовать лингвистическую информацию для построения математических моделей [Ротштейн, 1997]. В основе понятия нечеткого множества лежит суждение, что элементы, составляющие данное нечеткое множество, а также обладающие общими свойствами, могут обладать им и, следовательно, принадлежать к данному множеству в различной степени. В данном случае, высказывания вида «такой-то элемент принадлежит данному множеству» теряют смысл, так как еще нужно указать степень принадлежности к данному множеству и его свойствам [Аверкин, 1986].

Чтобы иметь возможность оперировать событиями, влияющими на временной ряд, а событий может быть достаточно много и каждое может быть связано друг с другом, имеет смысл использовать нечеткие когнитивные карты. Они позволяют построить причинно-следственные

связи между событиями и построить качественный прогноз развития события, основываясь на силе влияния одного события на другое.

Сама когнитивная карта представляет собой ориентированный граф, в котором вершины – это факторы ситуации, а взвешенные дуги – причинно-следственные отношения, вес которых отражает силу влияния факторов ситуации. Направленным дугам графа приписывается знак «+» или «-», т.е. они могут быть положительными или отрицательными. Положительная связь означает, что увеличение значения фактора-причины приводит к увеличению значения фактора-следствия, а отрицательная дуга означает, что увеличение значения фактора-причины приводит к уменьшению значения фактора-следствия.

Задачи, решаемые с помощью когнитивных карт, заключаются в нахождении и оценивании влияний факторов ситуации, и получении на основе вычисленных влияний прогнозов развития ситуации.

В настоящее время для вычисления влияний и прогнозов развития ситуации широкое применение находят нечеткие когнитивные карты, предложенные Б. Коско [Kosko, 1986]. В нечетких когнитивных картах сила влияния между факторами задаются с помощью лингвистических значений, выбранных из упорядоченного множества возможных сил влияний, а значения факторов, их приращения также задаются в лингвистическом виде, и выбираются из упорядоченных множеств возможных значений фактора и его возможных приращений – шкал факторов и шкал приращений.

Для построения когнитивной карты, отражающей динамические свойства наблюдаемой ситуации необходимо определить шкалы значений факторов и их приращений.

Для построения шкалы фактора определяется и структурируется множество лингвистических значений фактора. При определении лингвистических значений используются абсолютные значения фактора, а не его оценки типа «большой», «средний», «маленький». Например, лингвистическим значением температуры может быть следующим - «так горячо, что едва можно приложить ладонь» или значение «так холодно, что рука сразу замерзает», а не просто «Горячо» или «Холодно». При таком определении лингвистических значений факторов ситуации задается объективный эталон его значения – опорная точка. Задание объективного эталона значения фактора облегчает работу экспертов при определении силы влияния факторов и уменьшает экспертные ошибки.

Задача прогноза сводится к макстриангулярной композиции матрицы весов и вектора начальных приращений признаков.

Этот алгоритм работает для положительно определенных матриц, в то время как в нашем случае элементы матрицы смежности и векторов приращений могут принимать отрицательные и положительные значения.

Используется следующее правило преобразования матрицы смежности  $W = |w_{ij} sl|_{n \times n}$  с положительными и отрицательными элементами к положительно определенной двойной матрице  $W' = |w'_{ij} sl|_{2n \times 2n}$  [6]:

Если  $(w_{ij} sl) > 0$ , то  $w'_{i(2j-1)} s(2l-1) = w_{ij} sl, w'_{i(2j)} s(2l) = w_{ij} sl$

Если  $(w_{ij} sl) < 0$ , то  $w'_{i(2j)} s(2l) = -w_{ij} sl, w'_{i(2j-1)} s(2l-1) = -w_{ij} sl$

Начальный вектор приращений  $P(t)$  и вектор прогнозных значений признаков  $P(t+1)$ , в этом случае, должен иметь размерность  $2n$ . Правило получения начального вектора приращений  $P'(t)$  размерности  $2n$  из вектора начальных приращений  $P(t)$  размерности  $n$  следующее:

Если  $p_{ij}(t) > 0$ , то,  $p'_{i(2j-1)}(t) = p_{ij}(t), p'_{i(2j)}(t) = 0$ ;

Если  $p_{ij}(t) < 0$ , то,  $p'_{i(2j)}(t) = p_{ij}(t), p'_{i(2j-1)}(t) = 0$ ;

В векторе  $P'(t) = (p_{11}-, p_{11}+, \dots, p_{nm}-, p_{nm}+)$  значение признака  $f_{ij}$  характеризуют два элемента: элемент с индексом  $2j$  характеризуют положительное  $p_{ij}+$ , а с индексом  $2j-1$  - отрицательное  $p_{ij}-$ , приращение признака  $f_{ij}$ .

Тогда, двойной вектор приращений  $P'(t+1)$  для положительно определенной матрицы  $W'$  определяется с помощью следующего уравнения:

$$P'(t+1) = P'(t) \circ W',$$

где, для вычисления элемента вектора  $P'(t+1)$  используется правило:

$$p'_{ij}(t+1) = \max_{sl} (p'_{sl}(t) * w'_{ij} sl)$$

Элементы векторов приращений значений признаков, полученные в последовательные моменты времени  $P'(t+1), \dots, P'(t+n)$  после транспонирования представляются в виде блочной матрицы:

$$P_t = |P'(t+1)T, \dots, P'(t+n)T|.$$

Строки этой матрицы – это значения приращения одного признака в последовательные моменты времени, столбцы – это значения приращения всех признаков в момент времени, соответствующий, выбранному столбцу. Матрица  $P_t$  называется матрицей приращений и используется при работе алгоритмов объяснения прогнозов развития ситуации [7].

### 3.1 Генетический алгоритм обучения нечеткой когнитивной карты

Предположим, что мы имеем набор из  $3N$  строк исторических данных (далее – материал обучения) о состоянии концептов в системе. С точки зрения задачи прогнозирования на основе приращений концептов (см.

«Метод получения прогноза»), приращения концептов от  $i$ -той итерации к  $(i+1)$  итерации составят исходный вектор приращений. В этом случае нечеткой когнитивной карты должна показать, что при подобном исходном векторе приращений значения концептов изменятся таким образом, что результирующие их приращения приведут к значениям на  $(i+2)$  итерации.

Пусть  $A_i(t)$  – значение концепта  $e_i$  в момент времени  $t$ . Исходя из спецификации материала обучения, данной выше, будем рассматривать тройки строк  $A_i(t)$ ,  $A_i(t+1)$ ,  $A_i(t+2)$ .

Определим  $x_i = \frac{A_i(t+1)-A_i(t)}{A_i(t)}$ ,  $y_i = \frac{A_i(t+2)-A_i(t)}{A_i(t)}$ . Здесь  $x$  – это исходные вектора приращений,  $y$  – результирующие вектора приращений.

Пусть  $o_i(t)$  – приращение  $e_i$ , полученное в результате прогноза на исходном векторе  $x(t)$ .

Задача обучения состоит в минимизации ошибки нечеткой когнитивной карты, но с учетом введенных в данном параграфе значений  $x$ ,  $y$ ,  $o$ .

Для решения задачи обучения предлагается генетический алгоритм. В качестве хромосомы выделяется одномерный массив значений, в который разложен двумерный массив весов нечеткой когнитивной карты. Каждое значение в этом массиве называется геном. Определим основные шаги алгоритма:

Для всех ненулевых значений весов исходной карты определяется новое ненулевое значение веса, задаваемое малым случайным числом (знак не важен). Исходные ненулевые значения весов определяются экспертом (ненулевое значение может быть любым, его единственное предназначение – указание о том, что, по мнению эксперта, между двумя выбранными концептами существует причинно-следственная связь).

Пункт 1 повторяется *PopulationSize* раз. Таким образом, формируется первоначальная популяция случайных решений.

Определяется функция приспособленности (*fitness function*) для каждой хромосомы (о виде функции приспособленности – ниже).

Определяется пул родителей по методу «рулетки».

В пул родителей добавляются «элитные особи». Под элитными особями в генетических алгоритмах подразумеваются особи, которые показали наилучшее значение функции приспособленности на нескольких последних поколениях (по одной особи от поколения).

Происходит скрещивание хромосом, попавших в пул родителей. Скрещивание хромосом  $A$  и  $B$  происходит следующим образом. Случайным образом определяется граница скрещивания  $l$ . Обозначим  $A_{l+}$  часть хромосомы  $A$ , состоящую из генов, расположенных начиная с  $l$ , и  $A_{l-}$  – часть хромосомы, расположенную до  $l$ . Тогда результатом скрещивания будут две хромосомы  $A_{l-}B_{l+}$  и  $B_{l-}A_{l+}$ . Вероятность скрещивания определена заранее.

Если скрещивания не происходит, обе родительские хромосомы без изменений переходят в популяцию потомков.

Из потомков, полученных на шаге 6, формируется новая популяция (размер ее в точности совпадает с размером популяции на предыдущем шаге алгоритма).

Происходят мутации в популяции потомков. При мутации выбирается случайный ген и заменяется на новое случайное значение. Вероятность мутации определена заранее. Если мутации не происходит, хромосома переходит на следующую итерацию алгоритма неизменной.

Определяются следующие параметры поколения: элитная особь (особь, обладающая наилучшим значением степени приспособленности) для сохранения ее генофонда; среднее значение приспособленности популяции (имеет значение только для оценки сходимости алгоритма); значение приспособленности элитной особи.

Если значение приспособленности элитной особи больше заранее заданного значения максимальной приспособленности, алгоритм останавливается, и выбранная хромосома раскладывается в матрицу смежности нечеткой когнитивной карты (обучение считается завершенным). Иначе происходит переход на шаг 3.

Концепция элитных особей была введена в алгоритм для ускорения сходимости алгоритма. Количество элитных особей взято равным 60, в то время как размер популяции равен 100 (таким образом, на каждом шаге после 60-го поколения только 40 хромосом из текущей популяции имеют шансы на скрещивание – остальное заполняет элитный генофонд, доставшийся в наследство от предыдущих популяций).

Максимальное значение приспособленности определено как 0.99. Результаты обучения округляются до сотых долей.

Вероятность скрещивания определена как 0.9, а вероятность мутации – 0.5. Столь высокое значение вероятности мутации (обычно нехарактерное для генетических алгоритмов) в данном случае оправдано, так как мутации вносят генетическое разнообразие в популяцию. При этом, поскольку используется элитный генофонд, нет риска безвозвратно «потерять» полезные гены, доставшиеся от предыдущих поколений.

#### **4 Заключение**

В работе была представлена гибридная система прогнозирования временных рядов, которая основана на нейро-нечеткой сети и нечетких когнитивных картах. Подобная система прогнозирования позволяет включать во внимание все факторы, которые влияют на развитие ситуации, это собственно численный временной ряд, который прогнозируется на нечеткой нейронной сети и события, которые непосредственно влияют на будущее



развитие временного ряда. Разработан генетический алгоритм обучения когнитивной карты, который позволяет многократно ускорить процесс разработки и настройки весов связей нечеткой когнитивной карты.

### Список литературы

- [Аверкин и др., 1986] Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта // под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. 1986, 312 с.
- [Беллман и др., 1976] Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир. 1976. С. 172-215.
- [Лефевр, 1965] Лефевр В. А. Исходные идеи логики рефлексивных игр // Материалы конференции «Проблемы исследования систем и структур». – М.: Издание АН СССР. – 1965.
- [Ротштейн и др., 1997] Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент-Прим. 1997. 142 с.
- [Armstrong, 1988] Armstrong J. S. Research needs in forecasting. // International Journal of Forecasting. 1988. № 4. pp. 449-465.
- [Kosko, 1986] Kosko B. Fuzzy cognitive maps. // International journal of man-machine studies, T. 24. 1986. pp. 65-75.
- [Soros, 2003] Soros G. The alchemy of finance. – John Wiley & Sons. 2003
- [Yarushev, 2016] Yarushev S. A., Averkin A. N. Review of studies on time series forecasting based on hybrid methods, neural networks and multiple regression. // Программные продукты и системы. №1 (113). 2016.

## TIME SERIES ANALYSIS BASED ON FUZZY COGNITIVE MAPS AND NEURAL NETWORKS

Yarushev S.A. (*sergey.yarushev@icloud.com*)

Department of System Analysis and Management, Dubna  
State University, Dubna

Averkin A.N. (*averkin2003@inbox.ru*)

Dorodnicyn Computing Centre, FRC CSC RAS, Moscow

Fedotova A.V. (*afedotova.bmstu@gmail.com*)

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

The paper considers the task of constructing a hybrid system for forecasting time series based on fuzzy cognitive maps and neural networks. This approach allows us to take into account both the quantitative and qualitative characteristics of the time series. For completeness of the picture, features of fuzzy cognitive maps and their application in time series prediction problems are given. In addition, the developed genetic algorithm for

learning fuzzy cognitive maps is presented, which makes it possible to avoid the laborious task of manually adjusting the cognitive map.

**Keywords:** time series, fuzzy cognitive maps, neural networks, forecasting, time series analysis, fuzzy systems.

## РАСПОЗНАВАНИЕ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Николаев П.Л. (*npavel89@gmail.com*)

Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет), Москва

В работе рассматривается система распознавания активности человека по изображению с камеры. Данная система строится на основе одного из методов глубокого обучения – сверточной нейронной сети. Приводятся архитектура сверточной сети, методы и параметры обучения. Также анализируются разные функции активации с целью повышения точности распознавания.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, машинное обучение, глубокое обучение, сверточные нейронные сети.

### 1 Введение

Методы машинного обучения и искусственного интеллекта все активнее находят применение в различных сферах (в робототехнике, в медицине, в банковской сфере, в автомобилестроении и т.д.). Появление высокопроизводительных графических процессоров (в частности, GPU от NVIDIA с поддержкой технологии CUDA) и накопление большого количества различных данных, позволило разрабатывать и использовать искусственные нейронные сети с довольно сложными структурами. Данный вид машинного обучения обычно называют глубоким обучением.

Одним из перспективных направлений применения систем глубокого обучения является сфера автоматизации промышленных и офисных зданий и жилых домов. Например, уже сейчас существуют голосовые помощники с элементами искусственного интеллекта, способные распознавать человеческую речь и выполнять голосовые команды. Данные помощники можно использовать для голосового управления различными устройствами или системами, как дома, так и на работе. Другим направлением может быть создание систем распознавания текущей активности человека по изображению, получаемому с камеры наблюдения. И далее в зависимости от вида выполняемой человеком деятельности можно также автоматически регулировать работу различных устройств и систем.

В рамках данной работы будет рассмотрено построение глубокой нейронной сети, обученной для распознавания активности человека.

## **2 Сверточная нейронная сеть**

Ключевой частью системы распознавания активности человека является распознавание получаемого с камеры изображения. В последнее время наиболее эффективно в распознавании изображений преуспели сверточные нейронные сети (СНС).

СНС – это специальный вид нейронной сети для обработки данных с сеточной топологией [Гудфеллоу и др., 2017]. В СНС могут быть следующие слои:

- слой свертки;
- детекторный слой (слой функции активации);
- слой пулинга (субдискретизирующий слой);
- полносвязный слой;
- конечный слой с функцией активации (например, softmax).

Обычно сверточная сеть состоит из нескольких наборов слоя свертки, детекторного слоя и слоя пулинга. Далее идут полносвязные слои и конечный слой с функцией активации.

## **3 Экспериментальная часть**

Автором была обучена сверточная сеть для распознавания двух видов активности человека: чтение и работа за компьютером. Было собрано по 1400 изображений для каждого вида деятельности. Изображения были разделены в пропорции 70/30 для обучения и тестирования соответственно. Программа, реализующая СНС, была написана на языке программирования Python 3.6.1 с применением библиотек Theano 0.9.0 и Keras 2.0.6

Все вычисления производились на ноутбуке с видеокартой NVIDIA GeForce 940MX (поддерживает технологию CUDA) с 2 Гб видеопамяти. Также для обучения использовалась библиотека cuDNN 5.1.

В таблице 1 представлена архитектура сверточной нейронной сети, которая была обучена для распознавания активности человека.

В качестве алгоритма обучения использовался алгоритм Adam с гиперпараметрами по умолчанию.

Так как у нас было только две категории для классификации, то на выходном слое использовалась сигмоидальная логистическая функция активации.

В качестве функции потерь использовалась двоичная энтропия (binary\_crossentropy).

Таблица 1 – Архитектура сверточной сети

Слой (тип)	Форма вывода
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 148, 148, 32)
activation_1 (Activation)	(None, 148, 148, 32)
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 74, 74, 32)
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 72, 72, 32)
activation_2 (Activation)	(None, 72, 72, 32)
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 36, 36, 32)
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 34, 34, 64)
activation_3 (Activation)	(None, 34, 34, 64)
max_pooling2d_3 (MaxPooling2D)	(None, 17, 17, 64)
flatten_1 (Flatten)	(None, 18496)
dense_1 (Dense)	(None, 64)
activation_4 (Activation)	(None, 64)
dropout_1 (Dropout)	(None, 64)
dense_2 (Dense)	(None, 1)
activation_5 (Activation)	(None, 1)

Обычно в качестве функции активации после сверточного и полносвязного слоев используется функция ReLU. Но согласно [Clevert et al., 2016] применение функция активации ELU позволяет более быстро и точно обучать глубокие нейронные сети. Поэтому было проведено два эксперимента: в слоях activation\_1, activation\_2, activation\_3 и activation\_4 в первом случае использовалась функция активации ReLU, а во втором – ELU. На рисунке 1 и 2 представлены данные об ошибке и точности сети после 50 эпох обучения в первом случае, а на рисунках 3 и 4 – во втором.

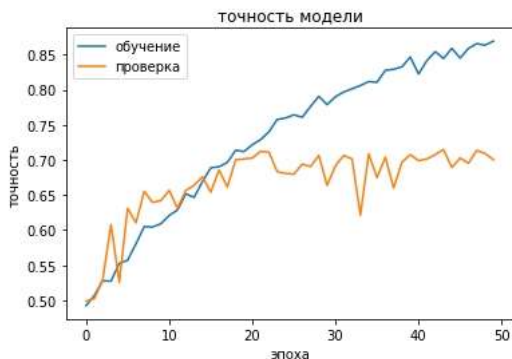


Рисунок 1 – Точность СНС с функцией активации ReLU

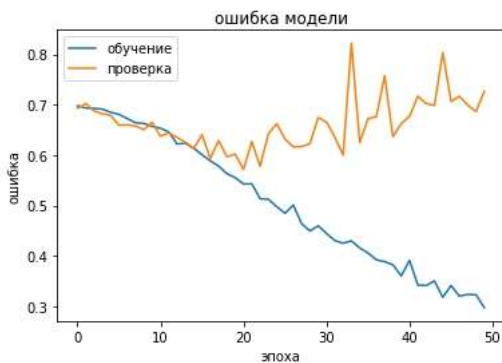


Рисунок 2 – Ошибка СНС с функцией активации ReLU

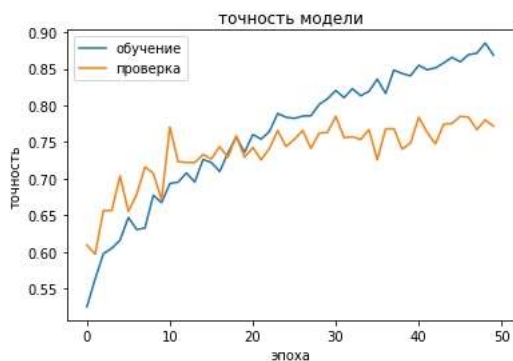


Рисунок 3 – Точность СНС с функцией активации ELU

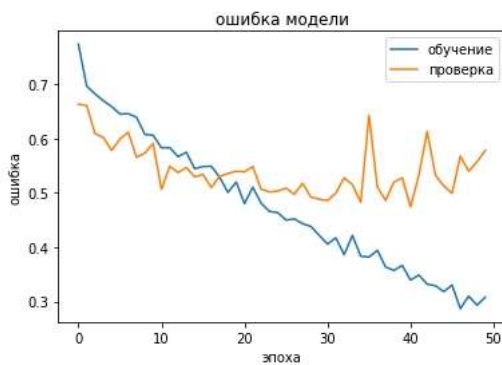


Рисунок 4 – Ошибка СНС с функцией активации ELU

Как видно по рисункам, применение функции ELU позволило получить гораздо лучшие результаты. В первом случае (с функцией активации ReLU) наибольшая точность классификации активности человека на тестовых данных составила 71,48%, а во втором (с функцией активации ELU) – 78,52%.

#### **4 Заключение**

В данной работе было рассмотрено применение одного из методов глубокого обучения (сверточной нейронной сети) для распознавания активности человека. Была обучена небольшая сверточная сеть для распознавания двух типов активности. Также была затронута тема выбора функции активации. Экспериментально установлено, что предпочтительнее использовать функцию ELU вместо традиционно применяемой функции ReLU.

Исходя из полученных в ходе экспериментов результатов, необходимо дальнейшее улучшение точности распознавания сети. Также следует обучить ее распознавать больше типов активности человека.

#### **Список литературы**

- [Гудфеллоу и др., 2017] Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс. 2017. 652 с.
- [Clevert et al., 2016] Clevert D-A, Unterthiner T. and Hochreiter S. Fast and accurate deep network learning by exponential linear units (ELUs) // ICLR 2016. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1511.07289.pdf> (дата обращения: 03.09.2017).

## **HUMAN ACTIVITY RECOGNITION BY CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK**

Nikolaev P.L. (*npavek89@gmail.com*)  
Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Moscow

In this paper the system for human activity recognition on the image from the camera is considered. This system is based on one of the deep learning methods – convolution neural network. The architecture of the convolutional network, methods and parameters of training are given. Also different activation functions are analyzed to improve recognition accuracy.

**Keywords:** artificial neural networks, machine learning, deep learning, convolutional neural networks.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ В ЗАДАЧЕ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ<sup>1</sup>

Пучков А.Ю. (*putchkov63@mail.ru*)

Филиал «Национальный исследовательский  
университет «МЭИ», Смоленске

В работе предложены алгоритмы применения методов извлечения знаний при построении нечеткого фильтра Калмана. В основе методов лежит нечеткая кластеризация данных поступающих от измерительной аппаратуры в процессе функционирования технологического объекта и дальнейшее использование ее результатов для вычисления коэффициента усиления фильтра.

**Ключевые слова:** нечеткий фильтр Калмана, обратные задачи, кластеризация данных

### 1 Введение

Управление сложными объектами различной природы (технологическими, социально-экономическими и другими) предполагает наличие значительных объемов измерительной информации характеризующей их текущее состояние. Для достижения целей управления также необходимо наличие моделей этих объектов, на основе которых анализируются их реакции на управляющие воздействия и синтезируются законы управления. При этом следует учитывать, что для различных режимов функционирования объектов эти модели могут иметь разный вид (в случае структурной идентификации) или различные значения параметров (параметрическая идентификация). В этих условиях автоматизация процесса определения режима функционирования объектов (особенно сложных по своей структуре) на основании применения методов извлечения знаний из поступающей измерительной информации заслуживает пристального внимания исследователей [Гимаров и др., 2004].

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 16-07-00491 А).



В данной работе предлагается модификация алгоритма получения описания формирующего фильтра (в рамках общей задачи калмановской фильтрации) в основе которого лежит метод извлечения знаний, базирующийся на нечеткой кластеризации измерительной информации. Учитывая, что ее поток во время функционирования объекта идет непрерывно, то обоснованно применение такой разновидности кластеризации, как динамическая [Гимаров и др., 2004].

Кластеризация в интеллектуальном анализе данных (Data Mining) приобретает ценность тогда, когда она выступает одним из этапов анализа данных, построения законченного аналитического решения и может базироваться на различных подходах, в том числе на аппарате нейронных сетей и нечеткой логики [Штовба, 2007].

Фильтр Калмана и его различные модификации получил широкое распространение в задачах статистического оценивания, когда частотные спектры полезного сигнала и помехи перекрываются, что делает невозможным применение частотных фильтров [Шахтарин, 2014]. Применение этого фильтра возможно для систем различной природы и сложности, однако вначале всегда требуется построение модели исследуемого процесса (формирующего фильтра). Эта не тривиальная задача не имеет универсального решения и в каждом конкретном случае решается с учетом особенностей контролируемого объекта. В ряде случаев описание формирующего фильтра можно получить на основе применения физических закономерностей или факторизации частотных спектров сигналов, но для сложных объектов приходится применять другие подходы, базирующиеся, в частности, на интеллектуальных методах обработки информации [Пучков и др., 2016b], [Borisov et al., 2004]. Особенно актуальными такие подходы становятся при управлении крупными технологическими, социально-экономическими объектами, для которых бывает трудно подобрать адекватную математическую модель, а задачи управления характеризуются слабой структурированностью и «размытостью» исходных данных [Пучков и др., 2016a].

## **2 Построение формирующего фильтра на основе нечеткой кластеризации данных измерений**

### **2.1 Постановка задачи**

Пусть совокупность измерительной информации об объекте или процессе в некоторый момент времени  $t_i$  представлена вектором наблюдения  $\mathbf{U}_i = \{u_{ki}\}, k = 1..K$ , где  $K$  – количество различных источников данных (датчики, измерительная аппаратура). Предполагается, что эти данные содержат шум измерений, влияние которого требуется снизить за счет использования алгоритмов калмановской фильтрации. Их применение требует синтеза

модели формирующего фильтра в форме векторно-матричного дифференциального уравнения, которое для  $k$ -го измерительного канала имеет вид:

$$\dot{\mathbf{X}}_k(t_i) = \mathbf{A}_k(t_i)\mathbf{X}_k(t_i) + \mathbf{V}_k(t_i), \quad (1)$$

где  $\mathbf{X}_k(t_i) = [x_k(t_i), x_k(t_i)^{(1)}, x_k(t_i)^{(2)} \dots x_k(t_i)^{(n)}]^T$  – вектор состояния для  $k$ -го измеряемого параметра объекта,  $x_k(t)^{(j)}$  – производная  $j$ -го порядка от  $x_k(t_i)$ ;  $\mathbf{A}_k(t_i)$  – матрица системы для  $k$ -го измеряемого параметра,  $\mathbf{V}_k(t_i)$  – векторный белый шум (порождающий процесс). Предполагается, что матрицы имеет согласованные друг с другом размеры, а также известны статистические характеристики порождающего процесса  $\mathbf{V}_k(t_i)$ .

Расчета фильтра Калмана состоит в определении его оптимального коэффициента усиления  $\mathbf{K}_k(t_i)$  и подстановки в векторно-матричное дифференциальное уравнение относительно оценки  $\widehat{\mathbf{X}}_k(t_i)$  состояния системы:

$$\dot{\widehat{\mathbf{X}}}_k(t_i) = \mathbf{A}_k(t_i)\widehat{\mathbf{X}}_k(t_i) + \mathbf{K}_k(t_i)(u_k(t_i) - \mathbf{C}_k(t_i)\widehat{\mathbf{X}}_k(t_i)), \quad (2)$$

где  $\mathbf{C}_k(t_i)$  – матрица измерений, обеспечивающая согласование размерности вектора состояний  $\mathbf{X}_k(t_i)$  и наблюдения  $u_k(t_i)$ .

Определение  $\mathbf{K}_k(t_i)$  в (2) производится на основе описания (1) и исходных данных, описывающих статистические характеристики порождающего процесса и шумов измерений. В контексте данной работы внимание уделяется определению значений матрицы  $\mathbf{A}_k(t_i)$ , так как общий вид (1) известен.

Учитывая, что для ряда сложных технологических, социально-экономических объектов характерна неполнота и нечеткость информации о взаимосвязи процессов, рассматриваемых на верхних уровнях управленческой иерархии, применение «точных» методов нахождения  $\mathbf{A}_k(t_i)$  оказывается затруднительным или невозможным. Один из подходов к получению формирующего фильтра в указанных условиях описан в [Пучков и др., 2016] и основан на применении экспертных суждения для формирования базы знаний системы нечеткого логического вывода. Однако в составе этих правил учитываются только значения самих сигналов в текущий момент времени и/или скорости их изменения.

В данной работе предлагается расширить число параметров используемых в продукционных правилах за счет добавления термножества для параметра, характеризующего состоянии или режим работы объекта. Например, для технологического объекта это могут быть следующие состояния: пуск, нормальная работа, предаварийные и аварийные состояния и так далее.

Подводя итог сказанному, конкретизируем постановку задачи, которую можно разделить на две составляющие:

1. Кластеризация данных - результаты измерений фиксируются в дискретные моменты времени  $t_i$ ,  $i=0..I$ , на протяжении какого-либо интервала достаточной длины, характеризующего различные режимы процесса или объекта. В результате получаем матрицу наблюдений:

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1K} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{I1} & u_{I2} & \dots & u_{IK} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Задается функция расстояния между точками  $\rho((u_{i1}, u_{i2} \dots u_{iK}), (u_{j1}, u_{j2} \dots u_{jK}))$ . Требуется разбить поле точек  $\mathbf{U}$  на подмножества, количество которых заранее не известно.

2. На основе полученных кластеров экспертным путем формируется база знания для системы нечеткого вывода, обеспечивающей определение элементов матрицы  $\mathbf{A}_k(t_i)$ .

## 2.2 Алгоритм определения параметров формирующего фильтра

Выбор метода кластеризации должен принимать во внимание особенности предметной области, опыт и предпочтения исследователя. Учитывая, что результаты этой процедуры будут использоваться в нечетких продукционных правилах обоснованным можно считать использования нечеткой кластеризации, которая позволяет не только найти кластеры, но и рассчитать значения функций принадлежности каждой точки пространства признаков к каждому кластеру.

Математические аспекты процедуры нечеткой кластеризации можно найти в литературе, например [Штовба, 2007], поэтому сосредоточим внимание на описании предлагаемого алгоритма определения параметров формирующего фильтра.

Учитывая, что разные структуры модели формирующего фильтра могут иметь одинаковую передаточную функцию, выберем такую его структуру, которая обладает тем свойством, что дисперсия компоненты  $X_{k1}$  вектора состояния  $\mathbf{X}_k$  остается постоянной и дисперсия ошибки не возрастает неограниченно при вариации постоянной времени системы. Если по каждому каналу измерений  $u_k$  ограничится двухкомпонентным вектором состояний  $\mathbf{X}_k$ , то при заданной форме уравнения (1) можно упростить процесс параметрической настройки формирующего фильтра за счет того, что в этом случае неизвестным остается лишь один элемент  $f$  матрицы непрерывной системы, соответствующей дискретному аналогу (1). Тогда искомая матрица  $\mathbf{A}_k$  может быть найдена путем преобразования:

$$\mathbf{A}_k = e^{-F_k T}$$

где  $F$  – матрица непрерывной системы,  $T$  – интервал дискретизации.

С учетом введенных ограничений общая структура алгоритма параметрической настройки формирующего фильтра может быть представлена следующей последовательностью этапов.

1. Подготовка данных для кластеризации. Здесь измерительные данные записываются в форме матрицы (3), а далее проводится нормализация значений ее элементов путем приведения к диапазону  $[0; 1]$ , в результате получаем матрицу  $U_{\text{норм}}$ .

2. Применяется «вычитающий» алгоритм кластеризации, позволяющий определить количество кластеров  $NC$  и координаты их центров [Штовба, 2007].

3. Составляется база знаний, на вход которой должна поступать измерительная информация  $U_i$ , полученная в  $i$ -й момент времени и которая характеризует точку в пространстве признаков кластеризации и для нее находятся расстояния  $\rho_{ij}$  до центра каждого  $j$ -го кластера. Структура правил имеет вид:

$$U_{m=1}^{NTC} \text{ if } \rho_{ij} = T\rho_m \text{ then } [U_{r=1}^{NR} ( \text{ if } \prod_{k=1}^K u_k = TU_{rk} ) \text{ then } f = TF_r], \quad (4)$$

где  $NTC$  – количество термов для расстояния  $\rho$ ;  $T\rho_m$  – терм-множество расстояний;  $TU_{rk}$  – обозначение  $r$ -го терм-множества значений  $k$ -го измерительного канала;  $NR$  – количество термов для параметра  $f$ ;  $TF_r$  – терм-множества для значений  $f$ .

4. Найденное значение  $f$  применяется в описании формирующего фильтра и далее в алгоритме калмановской фильтрации.

### 2.3 Описание численного эксперимента

Разработанный алгоритм параметрической настройки формирующего фильтра с применением извлечения знаний из измерительной информации на базе нечеткой кластеризации реализован в среде MatLAB. Эта программная среда обладает встроенными функциями для работы с нечеткой логикой содержащимися в пакете Fuzzy Logic Toolbox, что делает удобным апробацию предложенного алгоритма. Кратко охарактеризуем применяемые в алгоритме функции. Первый его этап, описанный в п. 2.2, можно реализовать программно, однако функция `subclust` (выполняет «вычитающий» алгоритм кластеризации) делать этого не требует, так как нормализация в ней предусмотрена. Возвращает `subclust` координаты кластеров, количество которых можно определить на основании количества возвращенных координат. Третий этап может реализовываться с использованием графической среды создания нечетких систем, вызываемой командой `fuzzy`, однако удобнее это делать программно, обеспечивая независимость программы алгоритма от встроенных графических интерфейсов.

Представим описание численного эксперимента укрупнено, без детального описания всех исходных данных и выкладок, а сосредоточим внимание на аспектах, характеризующих непосредственно представляемый алгоритм. В модельном эксперименте имитировалось получение измерительной информации от трех источников  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  которая содержала три области группировки точек пространства признаков соответствующих различным режимам функционирования объекта. Так как предполагается, что в каждом канале измерений  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  присутствует случайный шум, то результаты измерений будут представлять собой случайные процессы. В каждый момент времени результаты измерений будут определять координаты  $(u_1, u_2, u_3)$  точки в пространстве признаков и графически это отразится в виде поля точек показанного на рисунке 1 (с учетом их нормировки к диапазону  $[0, 1]$ ).

Применение функции `subclust` требует задания «областей влияния» кластеров, от величины которых зависит количество найденных кластеров. Опытным путем было определено, что в рамках решаемой задачи этот параметр следует выбирать из диапазона  $[0.4, 0.5]$ , так как при большем его значении кластеры существенно укрупняются, а при меньшем - количество кластеров сильно увеличивается. Это приводит к необходимости необоснованного расширения базы знаний системы нечеткого вывода для возможности коррекции модели формирующего фильтра для каждого кластера.

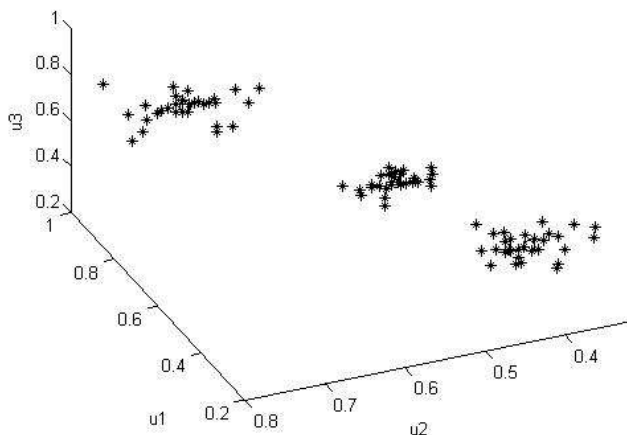


Рисунок 1 – Поле точек результатов измерений

В результате кластеризации данных, отраженных на рисунке 1, была получена матрица с координатами кластеров:

$$C = \begin{pmatrix} 0.5716 & 0.5035 & 0.5499 \\ 0.9078 & 0.6933 & 0.6920 \\ 0.3658 & 0.3882 & 0.3945 \end{pmatrix}.$$

Количество строк в матрице  $C$  определяет количество найденных кластеров, в данном случае три, что согласуется с тремя заданными областями группировки точек пространства признаков.

На основании полученных кластеров были внесены дополнения в базу знаний нечеткой системы подстройки формирующего фильтра (4) в которых учитывалось, к какому кластеру может быть отнесена текущая полученная измерительная информация. На рисунке 2 показаны результаты обработки измерений по каналу  $u_2$ . Выход фильтра Калмана с учетом кластеризации (жирная линия на рисунке 2) имеет четкие уровни переключения сигнала в зависимости от кластера, в то время как выход фильтра без учета кластеризации (пунктирная линия) долго «настраивается» на новый уровень зашумленного измерения  $u_2$  (сплошная линия). Визуальный анализ линий сигналов на рисунке 2 позволяет сделать вывод, что переключение модели формирующего фильтра на основании соотнесения состояния объекта к тому или иному режиму (кластеру) позволяет более эффективно выполнять оценку состояния объекта.

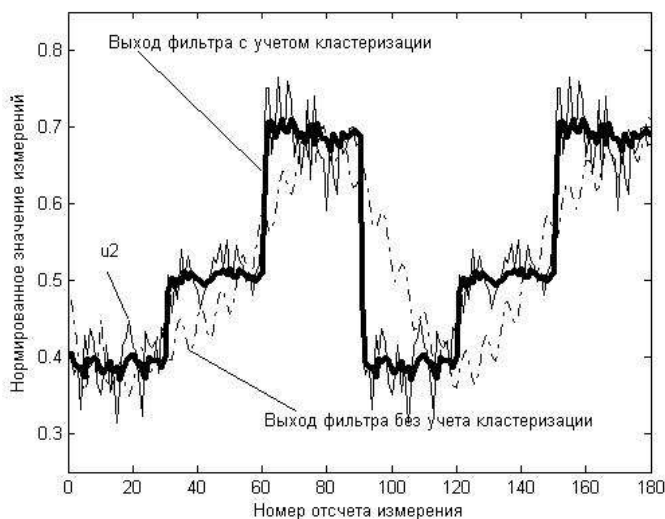


Рисунок 2 – Графики процессов в численном эксперименте

### 3 Заключение

В работе представлен алгоритм настройки параметров формирующего фильтра, входящего в состав исходной информации при проведении калмановской фильтрации, базирующийся на извлечении знаний из измерительной информации. Методом извлечения знаний выбрана нечеткая кластеризация на основе «вычитающего» алгоритма. Полученные сведения о наличии кластеров и их координатах учитываются в базе знаний системы нечеткого вывода параметров формирующего фильтра.

Алгоритм прошел апробацию с помощью модельного эксперимента в среде MatLAB, имеющей широкий спектр функций для работы с нечеткой логикой и кластеризацией. В результате эксперимента показано, что изменение параметров модели формирующего фильтра с учетом данных кластеризации текущей измерительной информации позволяет более эффективно проводить оценку состояния объекта на основе калмановского алгоритма.

Предложенный алгоритм может найти применение в контурах управления различных сложных объектов как технической, так и социально-экономической природы.

### Список литературы

- [Пучков и др., 2016a] Пучков А.Ю., Дли М.И./ Совершенствование системы диагностики котельного агрегата на основе нейро-нечетких алгоритмов. Нейрокомпьютеры: разработка, применение. Международный научно-технический журнал. № 7, 2016.
- [Пучков и др., 2016b] Пучков А.Ю., Максимкин М.В. Постановка задачи оценивания социально-экономических процессов на основе калмановских алгоритмов // Актуальные проблемы менеджмента и экономики в России и за рубежом Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016.
- [Шахтарин, 2014] Шахтарин Б.И. Фильтры Винера и Калмана. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 408 с.
- [Штовба, 2007] Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. – М.: Горячая линия–Телеком. 2007, 288 с.
- [Borisov et al., 2004] Borisov V.V., Fedulov A.S. Generalized rule-based fuzzy cognitive maps: structure and dynamics model. Lecture Notes in Computer Science. 2004. Т. 3316. С. 918-922.
- [Гимаров и др., 2004] Гимаров В.А., Дли М.И. Динамическая кластеризация состояний химико-технологического оборудования // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. 2004. Т. 47. № 8.
- [Гимаров и др., 2003] Гимаров В.А., Дли М.И. Прогнозирование номера образа по текущим характеристикам объекта // Гимаров В.А., Дли М.И. Программные продукты и системы. 2003. № 2. С. 3

# DATA MINING IN KALMAN FILTERING TASK BASED ON FUZZY CLUSTERIZATION

Puchkov A.Y. (*putchkov63@mail.ru*)

The Smolensk Branch of the Moscow Power Engineering  
University

The work presents the algorithms of Data Mining techniques application in fuzzy Kalman filter building. Fuzzy clusterization of data incoming from measuring equipment in technological object functioning and further usage its results to calculate Filter Amplification Coefficient - underlies the techniques.

**Keywords:** fuzzy Kalman filter, inverse problem, clustering of database.



## АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ МЕРЫ СЕМАНТИЧЕСКОЙ АССОЦИИ ПОСТОВ БЛОГОВ

Найханов Н.В. (*naikhan2021@gmail.com*)

Найханова Л.В. (*obeka\_nlv@mail.ru*)

Восточно-Сибирский Государственный Университет  
Технологий и Управления, Улан-Удэ

Статья посвящена установлению сходства двух блог-постов. Блог-посты являются хранилищем знаний новой категории, исследование которой позволит эффективно использовать ее в бизнесе и политике. Блоги в отличие от веб-документов имеют небольшой размер, поэтому в контексте содержатся нестрогие грамматические структуры, это усложняет их анализ. В работе предложен алгоритм определения меры семантической ассоциации пары постов блогов.

**Ключевые слова:** мера семантической ассоциации, алгоритм, интеллектуальный анализ текста

### 1 Введение

В настоящее время интернет вошел в повседневную жизнь почти каждого человека. Многие люди общаются друг с другом посредством онлайн взаимодействия. В работе [Козько, 2016] приведена следующая классификация средств онлайн взаимодействия: блоги, форумы, вопросно-ответные системы и системы комментариев. Все эти средства имеют подобную структуру и отличаются только идеологией. Блог-Посты, как и другие перечисленные выше приложения на веб 2.0 открыли новый и простой способ выразить мнение каждого пользователя Интернета в мире, его мысли и предпочтения "нравится – не нравится". Популярность ведения блогов обусловлена скоростным, легким и эффективным созданием контента, совместной работой и распространением информации. Потенциал хранилища знаний, сгенерированный пользователями, теоретически безграничен.

Блогосфера без сомнений самое большое хранилище контента полное информации, созданное пользователями. Потенциал этой информации еще предстоит изучить. Обнаружение знаний из этой категории является довольно трудным и сложным, поскольку сильно отличается от других популярных категорий веб-приложений. Блоги в отличие от веб-документов

имеют небольшой размер, поэтому в контексте содержатся нестрогие грамматические структуры. Из этого следует, применение стандартной меры близости текста не обеспечивает требуемых результатов.

В последнее время исследователи ввели новые подходы к извлечению мнения, идентификации сообщества, кластеризации блогов, а также выявление влиятельных блогеров из блогосферы. Они также отметили, что методы традиционного интеллектуального анализа текстов не очень хорошо подходят для новой категории веб-приложений. Тщательный анализ записей блогов в сравнении с веб-документами показывает, что блоги требуют особого рассмотрения из-за его специальных структур записей, короткой длины, отсутствия контекста и нестрогих грамматик.

При установлении взаимосвязи между парой блогов мера семантической ассоциации имеет решающее значение, после ее установления можно выполнить их эффективную кластеризацию. Традиционная мера близости текста, основанная на сопоставлении терминов не способна ухватить смысл текста из записей блога. Несколько попыток было сделано, чтобы определить меры семантической близости пары текстов [Aziz, 2010]. Большинство из них определяет смысл посредством составления аннотаций и замены эквивалентных понятий (синонимов), относящиеся к пространству понятий аннотаций, используя лексическую базу данных типа WordNet.

Часто бывает трудно построить и определить контекст короткого сегмента текста с помощью существующих подходов. В статье предлагается алгоритм для вычисления меры семантической ассоциации постов блогов. В основе алгоритма лежит мера сходства, использующая взвешенную меру сходства именных словосочетаний, глагольных словосочетаний и общего набора слов, т.е. достаточно обобщенное определение семантики текста записей блогов.

## **2 Описание алгоритма**

Мера семантической ассоциации двух постов показывает, насколько тесно связаны два сообщения между собой по смыслу, т.е. насколько содержание информации двух сообщений похоже. Сообщениям свойственны короткий текст, свободная грамматика, и отсутствие контекста. Эти характеристики являются наиболее сложными проблемами при вычислении семантической ассоциации блог-постов.

В работе предложен алгоритм по которому вычисляется семантическая мера ассоциации сообщений блогов. Этот алгоритм оценивает по парам все сообщения в наборе заданных блогов. Рассмотрим основные шаги алгоритма:

1. Выбор пары постов  $p_{1i}$  и  $p_{2i}$  двух различных блогов  $b_1$  и  $b_2$  для измерения близости основных предложений.

2. Выделение именных субстантивных словосочетаний, глагольных словосочетаний на основе конструкций лексико-синтаксических шаблонов и выделение общих наборов слов основных предложений для идентификации отдельных множеств постов  $\{p_{1i}\}$  и  $\{p_{2i}\}$ .

3. Вычисление семантической ассоциации именных и глагольных словосочетаний, общих наборов слов из определенных наборов обоих постов, обозначенных как  $sim_{noun}$ ,  $sim_{verb}$  и  $sim_{common}$  соответственно. Вычисление выполняется с помощью гибридной меры семантической ассоциации [Jabeen, 2014]. Эта мера сочетает в себе как структурные характеристики, так и характеристики информационного контента, использует Википедию в качестве источника фоновых знаний. Структурная характеристика, сочетает в себе два показателя:

- пропорция гиперссылок Википедии, разделяющих два концепта,  $ws(t_1, t_2)$ , где  $(t_1, t_2)$  – пара сравниваемых концептов;
- нормализованная семантическая ориентация набора совпавших ссылок,  $osr(t_1, t_2)$ .

Линейная комбинация этих двух показателей позволяет получить характеристику  $sr$  (связанность на основе структуры), следующим образом:

$$sr = \frac{1}{2} \times [ws(t_1, t_2) + osr(t_1, t_2)].$$

В центре внимания этой новой характеристики является как семантическая близость, так и семантическая связанность, поскольку учитывается и структура, и семантическая ориентация.

Вторая характеристика  $cpr$  основана на векторном подходе вычисления ассоциации, использующая информационный контент статей Википедии. Этот подход ориентирован на семантическую связанность.

Третья характеристика  $dcrm$  основана на комбинировании структуры гиперссылок и информационного контента Википедии. Эта характеристика использует структурное совпадение рассматриваемых элементов в качестве концептуального пространства и вычисляет смежность на основе дистрибутивных ассоциаций пар элементов в этом концептуальном пространстве для вычисления семантических ассоциаций. В центре внимания этой характеристики связанность на основе смежности.

Таким образом, вычисляются  $sim_{noun}$ ,  $sim_{verb}$  и  $sim_{common}$ .

4. Для того, чтобы выявить истинную семантическую близость блогов, рассчитывается выпуклая комбинация, как разница средневзвешенных величин [Aziz, 2010]. Выпуклые комбинации весов предназначенных для  $sim_{noun}$ ,  $sim_{verb}$  и  $sim_{common}$  обозначены как  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и определяются по формулам, приведенным ниже.

$$\alpha = \frac{sim_{noun}}{(sim_{verb} + sim_{common})},$$

$$\beta = \frac{sim_{verb}}{(sim_{noun} + sim_{common})},$$

$$\gamma = \frac{sim_{common}}{(sim_{verb} + sim_{noun})}.$$

Алгоритм использует взвешенные меры подобия именных и глагольных словосочетаний, общих наборов слов, чтобы вычислить меру подобия между постами  $p_{1i}$  и  $p_{2i}$ , используя выпуклую комбинацию в уравнении, приведенном ниже.

$$S_{p_{1i}p_{2j}} = \frac{\alpha \cdot sim_{noun} + \beta \cdot sim_{verb} + \gamma \cdot sim_{common}}{sim_{noun} + sim_{verb} + sim_{common}}$$

Мера  $S_{p_{1i}p_{2j}}$  в основном использует веса существительных и глаголов для фактического извлечения семантики из предложения, тогда как веса общего набора слов используются для учета вероятностной природы языка.

#### 4 Заключение

В данной статье предложен новый подход для измерения семантической схожести двух блог-постов. Мера семантической ассоциации содержания текстов широко используются в различных областях таких, как моделирование языка, разрешение лексической многозначности, кластеризация документов и фильтрация поиска.

Предложенный алгоритм основан на предположении, что извлекая именные и глагольные словосочетания, а также набор общих слов, и используя их выпуклую комбинацию можно вычислить меру семантической ассоциации постов более точно. Для вычисления семантической ассоциации отдельных компонентов выпуклой комбинации используется гибридная мера. В качестве источника фоновых знаний применяется Википедия.

В дальнейшем результаты работы алгоритма предполагается использовать для кластеризации блогов и для опознания влиятельных блоггеров.

#### Список литературы

- [Козько, 2016] Козько А.А. Разработка математических методов и программного обеспечения для построения интеллектуальных форумов // The 4th international conference “Information technologies for intelligent decision making support ITIDS’2016” Ufa, 17-19 мая 2016 г. – С. 84-88.
- [Aziz, 2010] Aziz M., Rafi M. Sentence based Semantic Similarity Measure for Blog-Posts [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/7d95/44c5dcb771532109b1272649cacb7ffb0f45.pdf> (дата обращения: 04.09.2017).
- [Jabeen, 2014] S. Jabeen, X. Gao, P. Andreae. A Hybrid Model for Learning Semantic Relatedness based on feature extraction from Wikipedia / Jabeen Shahida, GAO Xiaoying, Andreae Peter // Accepted in the 15th International Conference on Web Information System Engineering (WISE’2014)., Part I, LNCS 8786. – 2014.– PP. 523–533.

# MEASURE SEMANTIC ASSOCIATION FOR PAIR BLOG-POSTS

Naykhanov N.V. (*naikhan2021@gmail.com*)

Naykhanova L.V. (*obeka\_nlv@mail.ru*)

East Siberia State University of Technology and  
Management, Ulan-Ude

The paper is devoted to establishment of likeness of two blog-posts. Blog-posts are a repository of knowledge of new category. The research of this repository will allow to use effectively it in business and a policy. Blogs unlike web documents have the small size therefore the context contains mild grammatical structures. This fact complicates their analysis. In operation the algorithm of determination of a measure of semantic association of couple of posts of blogs is offered.

**Keywords:** measure of semantic association, algorithm, text data mining.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧИСЛОВОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗНАЧЕНИЙ<sup>1</sup>

Афанасьева Т.В. (*tv.afanasjeva@gmail.com*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В работе описываются пять преобразований числового временного ряда во временные ряды, имеющие различную форму представления: нечеткую, лингвистическую и их комбинации. Для этого необходимо предварительно построить на универсуме значений числового временного ряда лингвистическую переменную.

**Ключевые слова:** временной ряд, нечеткий временной ряд, лингвистическая переменная, лингвистический временной ряд

### 1 Введение

Во многих приложениях, связанных с анализом динамики поведения сложных объектов и принятием решения на этой основе, часто применяется предварительное преобразование исходного числового временного ряда (ВР). Обычно преобразование исходного числового ВР имеет целью получить некоторое сжатое его представление, удобное для дальнейшего моделирования и анализа. Существует много методов такого преобразования числового временного ряда в другой числовой временной ряд (назовем такое преобразование “численно-численное” преобразование), такие как, дискретное преобразования Фурье (ДПФ), рассмотренное в работе [Agrawal, etc., 1993], дискретное вейвлет-преобразование (DWT) [Chan, etc., 1999], “дифференцирование” в ARIMA-модели [Box, etc., 1970], F-преобразования [Perflieva, 2006].

Лингвистическое представление числового ВР (“численно-лингвистическое” преобразование) в виде последовательности символов предложено в работе [Lin, etc., 2003] и было названо символическим приближением (SAX-Symbolic Aggregate approXimation).

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-730715).

При таком подходе главная цель состоит в том, чтобы получить сокращенное представление ВР на основе его дискретизации с использованием заранее заданных символов. Эти символы связаны с распределением Гаусса, моделирующим случайное рапределение стационарного процесса.

В работах [Song, etc., 1993; Hwang, etc., 1998; Perfilieva, etc., 2013] применение нечеткого представления численного временных рядов рассматривается в задаче прогнозирования ВР. Для получения нечеткого представления числового ВР требовалось задать лингвистическую переменную с некоторыми лингвистических термами на различных числовых представлениях ВР. В результате авторы получают различные формы нечеткого ВР. Это преобразование числового ВР в нечеткий ВР будем называть "численно-нечеткое" преобразование. Следует отметить, что понятие лингвистической переменной, введенное Л. Заде, [Zadeh, 1975] сочетает в себе числовые и лингвистические данные.

Таким образом, этот факт дает возможность изучить применение лингвистической переменной для получения и других представлений ВР на основе лингвистической переменной.

Отметим, что систематическое изучение и описание преобразований числового ВР во временные ряды различных типов с использованием лингвистической переменной не достаточно представлено в современных исследованиях.

## 2 Предварительные определения

Пусть дан ВР  $X = \{x_t | x_t \in W, W \subseteq \mathbb{R}, t = 1, 2, \dots, n\}$ .

**Предположение 1.** Предположим, что нечеткая лингвистическая переменная  $L$  может быть создана на множестве  $W$  заданного ВР  $X$ , и она удовлетворяет следующему:

(А) на множестве  $W$ , которое рассматривается как универсум переменной  $L$ , определены частично упорядоченные (возможно пересекающиеся) интервалы  $P = \{p_i, i = 1, 2, \dots, r, r < n$ .

(В) множество лингвистических термов (значений)  $\tilde{Z} = \{\tilde{z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$  лингвистической переменной  $L$  определяется на частично упорядоченных интервалах  $P = \{p_i, i = 1, 2, \dots, r, r < n$ , которые покрывают множество  $W$  и каждый лингвистический терм  $\tilde{z}_i \in \tilde{Z}$  связан с одним  $p_i$  интервалом;

(С) каждый лингвистическим термом  $\tilde{z}_i \in \tilde{Z}$  связана некоторая функция принадлежности  $\mu_{\tilde{z}_i}$  нечеткого множества, которая удовлетворяет свойствам нормальности и выпуклости, и для любых  $x_t \in W$ ,  $\mu_{\tilde{z}_i}(x_t): W \rightarrow [0, 1]$ ;

(D) каждому значению ВР  $x_t \in W$  соответствует по меньшей мере один

лингвистический терм  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  с  $\mu_{\tilde{Z}_i}(x_t) > 0$ , так что любой лингвистический терм  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{Z}_i}(x_t)$  удовлетворяет свойству покрытия.

В некотором смысле лингвистический терм  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  можно рассматривать как четкое обозначение (имя) нечеткого множества, заданного функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{Z}_i}$ , и этот терм может быть применен для построения лингвистического представления ВР.

Лингвистическая переменная  $L$  может быть создана на основе знаний о предметной области, экспертного знания или с использованием автоматического алгоритма с заранее определенными параметрами. В некотором смысле лингвистическую переменную  $L$  можно рассматривать в качестве шкалы для оценки числового значения ВР  $X$ , и лингвистический терм  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  может быть сопоставлен некоторой градации этой шкалы, такой как "ноль", "очень маленький", "небольшой", "средний" (см описание в ACL-шкалы в работе [Afanasieva, etc., 2016]).

В простейшем случае автоматической генерации лингвистической переменной  $L$  мы будем считать, что частично упорядоченные интервалы  $P$  имеют одинаковую длину, и функции принадлежности лингвистического термина  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  имеют одинаковую симметричную и треугольной форму.

Поскольку интервалы  $P$  на множестве  $W$  частично упорядочены (Предположение 1), поэтому мы можем считать, что существует свойство частичного порядка на множестве лингвистических терминов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$ , обладающее свойствами рефлексивностью, транзитивностью и анти-симметричности.

Для некоторой функции принадлежности  $\mu_{\tilde{Z}_i}$ ,  $i = \text{const}$  и некоторого значения ВР  $x_t \in W$ ,  $t = \text{const}$  значение  $y_{ti} = \mu_{\tilde{Z}_i}(x_t)$ ,  $y_{ti} \in [0, 1]$  рассматривается как степень принадлежности  $x_t$  к  $i$ -му нечеткому множеству, связанному с лингвистическим термом  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$ .

### 3 Преобразования числового ВР наблюдений с использованием лингвистической переменной значений

Пусть  $X = \{x_t | x_t \in W, W \subseteq \mathbb{R}, t = 1, 2, \dots, n\}$  числовой ВР некоторых наблюдений, лингвистическая переменная  $L$  с набором лингвистических терминов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$  (в соответствии с предположением 1) была определена на на множестве  $W$ . Далее лингвистическая переменная  $L$  будет называться как лингвистической переменной значений числового ряда некоторых наблюдений (лингвистическая переменная значений, для краткости).

**Определение 1.** Для заданного числового ВР  $X$  и для лингвистической



переменной значений  $L$  с набором лингвистических терминов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$  матрица  $\mathbb{Y}_{n \times r}$  степеней принадлежности каждого  $x_t \in W$  к каждому лингвистический термину  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$  определяется как

$$Y = (y_{ti}), (t = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, r),$$

где  $y_{ti} = \mu_{\tilde{Z}_i}(x_t), y_{ti} \in [0, 1]$ .

**Определение 2.** Для ВР  $X$  и для лингвистической переменной значений  $L$  нечеткое значение  $Y_t$  числового значения  $x_t \in W$  в фиксированный момент времени есть  $r$ -мерный вектор  $Y_t = (y_{ti}), (i = 1, 2, \dots, r, y_{ti} = \mu_{\tilde{Z}_i}(x_t))$  степеней принадлежности  $x_t$  к каждому лингвистический термину  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$ .

Этот вектор соответствует  $t$ -й строке матрицы  $\mathbb{Y}_{n \times r}$  и по крайней мере один из компонентов этого вектора отличен от нуля в соответствии с Предположением 1.

В то же время можно рассматривать нечеткое значение  $Y_t$  числового значения  $x_t \in W$  в фиксированный момент времени  $t$  в качестве дискретного нечеткого множества, построенного на множестве лингвистической terms  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$ :

$$Y_t = \{\frac{y_{t1}}{\tilde{Z}_1}, \frac{y_{t2}}{\tilde{Z}_2}, \dots, \frac{y_{tr}}{\tilde{Z}_r}\} \quad (1)$$

Последнее позволяет вычислить приближенное значение  $x_t \in W$  путем дефаззификации нечеткого множества  $Y_t$ , при этом нечеткое множество  $Y_t$  удовлетворяет свойству субнормальности и выпуклости.

**Определение 3.** Для числового значения  $x_t \in W$  ВР  $X$  и для лингвистической переменной значений  $L$  приближенное значение  $x'_t \in W$  в фиксированный момент времени точка  $t$  рассчитывается любым методом дефаззификация нечеткого значения  $Y_t$ , например, с помощью метода центра тяжести метода (COG):

$$x'_t = \frac{\sum_{i=1}^r x_t \cdot y_{ti}}{\sum_{i=1}^r y_{ti}}. \quad (2)$$

**Определение 4.** «Численно-нечеткое» матричное преобразование (NFXM -преобразование) числового ВР наблюдений  $X$  с помощью лингвистической переменной значений  $L$  представляет собой алгоритм получения нечеткого ВР, представленного в матричной форме (в соответствии с Определением 1).

**Определение 5.** «Численно-нечеткое» векторное преобразование (NFXV- преобразование) числового ВР наблюдений  $X$  с использованием лингвистической переменной значений  $L$  представляет собой алгоритм генерирующий нечеткий ВР в виде последовательности векторов  $\{Y_t | Y_t = (y_{ti}, i=1, 2, \dots, r, y_{ti} = \mu_{\tilde{Z}_i}(x_t))\}$  (в соответствии с определением 2).

«Численно-нечеткое» матричное преобразование NFXM-преобразование числового ВР наблюдений  $X$  включает в себя 2 шага:

*Шаг 1.* Предварительная обработка. Построение на ВР наблюдений  $X$  лингвистической переменной значений  $L$  с множеством лингвистических термов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$  в соответствии с Предположением 1.

*Шаг 2.* Получение матричной формы нечеткого ВР  $\Upsilon_{n \times r}$  согласно Определению 1.

«Численно-нечеткое» векторное преобразование NFXV-преобразование числового ВР наблюдений  $X$  расширяет NFXM-преобразование, за счет добавления третьего шага:

*Шаг 3.* Формирование векторной формы нечеткого ВР  $\{Y_t | Y_t = (y_{ti}, i = 1, 2, \dots, r, y_{ti} = \mu_{\tilde{Z}_i x_t})\}$ . Каждое нечеткое значение этого нечеткого ВР определяется формулой (1).

**Определение 6.** “Численно-численное” преобразование (NNX-преобразование) числового ВР наблюдений  $X$  с использованием лингвистической переменной значений  $L$  представляет собой алгоритм получения приближенного числового ВР  $\{x'_t | x'_t \in W, W \subseteq \mathbb{R}, t = 1, 2, \dots, n\}$ , каждое значение которого вычислено в соответствии с Определением 3.

Очевидно, что NNX-преобразование является обратным по отношению к NFXV-преобразованию согласно определению 5, поэтому алгоритм NNX-преобразования ВР включает в себя этапы NFXV-преобразования и еще один шаг для дефазификации значений нечеткого ВР.

Так как лингвистическая переменная  $L$  определяется на множестве нечетких интервалов  $P$  и удовлетворяет свойству покрытия существует некоторое  $x_t \in W$ , для которого определены несколько лингвистических терминов  $\tilde{Z}_i \in \tilde{Z}$ , с положительными значениями функций принадлежности.

Этот факт позволяет рассматривать задачу получения четкого лингвистического представления числового ВР  $X = \{x_t | x_t \in W, W \subseteq \mathbb{R}, t = 1, 2, \dots, n\}$ , используя лингвистическую переменную значений  $L$  с множеством лингвистических термов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$ .

**Определение 7.** Лингвистическое значение  $\tilde{X}_t$  значения  $x_t \in W$ , полученное на основе лингвистической переменной значений  $L$  с множеством лингвистических термов  $Z$  определяется как лингвистический терм  $\tilde{X}_t \in Z$  с максимальным значением степени принадлежности нечеткого множества  $Y_t$ :

$$\tilde{X}_t = \tilde{Z}_s, s = \operatorname{argmax}_{i=1,2,\dots,r} (y_{ti}) \quad (3)$$

$$\mu_{\tilde{X}_t}(x_t) = y_{ts}, s \in \{1, 2, \dots, r\}. \quad (4)$$

Здесь значение  $\mu_{\tilde{X}_t}(x_t)$  есть высота нечеткого множества  $Y_t$ .

Таким образом, рассматривая вектор  $Y_t$  как нечеткое множество, мы можем получить два новых ВР по формулам (3) и (4).

Следует отметить, что лингвистический BP  $\{\tilde{X}_t | \tilde{X}_t \in \tilde{Z}, t = 1, 2, \dots, n\}$  является четким BP и каждое его значение является наиболее подходящей лингвистической характеристикой числового значения  $x_t \in W$ .

**Определение 8.** "Численно-лингвистическое" преобразование (NLX-преобразование) числового BP наблюдений  $X$  с использованием лингвистической переменной значений  $L$  представляет собой алгоритм получения лингвистического BP  $\{\tilde{X}_t | \tilde{X}_t \in \tilde{Z}, t = 1, 2, \dots, n\}$ , и вычисляется согласно выражению (3).

"Численно-лингвистическое" преобразование числового BP наблюдений  $X$  включает в себя NFXV-преобразование согласно Определению 5, а затем лингвистические значения  $\tilde{X}_t$  вычисляются по формуле (3).

**Определение 9.** "Численно-лингвистическо-нечеткое" преобразование (NLFX-преобразование) числового BP это алгоритм получения лингвистического нечеткого BP  $\{\tilde{X}_t, \mu_{\tilde{X}_t}(x_t) | t = 1, 2, \dots, n; \tilde{X}_t \in \underline{Z} \text{ по формулам (3) и (4).}$

Для того, чтобы выполнить NLFX-преобразование числового BP наблюдений  $X$  необходимо, во-первых, выполнить NLX-преобразование, а затем вычислить значения  $\mu_{\tilde{X}_t}(x_t)$  по формуле (4).

В соответствии с введенными определениями числовой BP наблюдений  $X = \{x_t | x_t \in W, W \subseteq \mathbb{R}, t = 1, 2, \dots, n\}$  может быть преобразован с помощью лингвистической переменной значений  $L$  с множеством лингвистических терминов  $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_i | i = 1, 2, \dots, r, r < n\}$  в следующие BP:

- нечеткий BP, представленный в матричной форме с помощью NFXM-преобразования (Определение 4);
- нечеткий BP в векторной форме с помощью NFXV-преобразования (Определение 5);
- числовой BP как приближенный BP, используя NNX-преобразование (Определение 6);
- лингвистический нечеткий BP, который является результатом NLFX-преобразования (Определение 9);
- лингвистический BP в виде последовательности лингвистических термов, который получен с помощью NLX-преобразования (Определение 8).

Эти новые временные ряды различны по своей природе, так как были получены различными преобразованиями одного и того же числового BP наблюдений  $X$ , используя одну и ту же лингвистическую переменную значений  $L$ . С другой стороны, временные ряды, полученные рассмотренными выше преобразованиями несут дополнительную информацию о числовом BP наблюдений  $X$ . Эта информация

представлена в различных формах и может быть полезна при различных методах добычи данных.

#### 4 Заключение

Используя описанные в статье преобразования числовой ВР наблюдений может быть представлен в различных формах: нечеткой, числовой, лингвистической и нечеткой лингвистической.

Эти новые формы исходного ВР производятся на основе единой лингвистической переменной, которая должна быть предварительно создана на универсуме значений ВР и должна удовлетворять условиям, приведенным в статье. Систематически представленные преобразования в статье сопровождаются обобщенными описаниями алгоритмов, необходимые для их реализации.

В результате описанных преобразований числовой ВР может быть применен в интеллектуальном анализе временных рядов, например, в задачах прогнозирования, кластеризации, обнаружения аномалий, лингвистического описания результатов и классификации.

#### Список литературы

- [Afanasieva, etc., 2016] Afanasieva, T., Yarushkina, N., Gyskov, G.: ACL-scale as a tool for preprocessing of many-valued contexts. In: Proceedings of the Second International Workshop on Soft Computing Applications and Knowledge Discovery (SCAD 2016), pp. 2–11 (2016).
- [Agrawal, etc., 1993] Agrawal, R., Faloutsos, C., Swami, A.N.: Efficient similarity search in sequence databases. In: Lomet, D.B. (ed.) Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO 1993), pp. 69–84. Springer, London (1993).
- [Box, etc., 1970] Box, G., Jenkins, G.: Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco (1970).
- [Chan, etc., 1999] Chan, K., Fu, A.W.: Efficient time series matching by wavelets. In: Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Data Engineering, Sydney, Australia, 23–26 March 1999, pp. 126–133 (1999).
- [Hwang, etc., 1998] Hwang, J.R., Chen, S.M., Lee, C.H.: Handling forecasting problems using fuzzy time series. *Fuzzy Sets Syst.* 100, 217–228 (1998).
- [Lin, etc., 2003] Lin, J., Keogh, E., Lonardi, S., Chiu, B.Y.: A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms. In: DMKD 2003, pp. 2–11 (2003).
- [Perfileva, 2006] Perfileva, I.: Fuzzy transforms: theory and applications. *Fuzzy Sets Syst.* 157, 993–1023 (2006).
- [Perfileva, etc., 2013] Perfileva, I., Yarushkina, N., Afanasieva, T., Romanov, A.: Time series analysis using soft computing methods. *Int. J. Gen. Syst.* 42(6), 687–705 (2013).
- [Song, etc., 1993] Song, Q., Chissom, B.: Forecasting enrollments with fuzzy time series—Part I. *Fuzzy Sets Syst.* 54, 1–9 (1993).
- [Zadeh, 1975] Zadeh, L.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-1. *Inf. Sci.* 8, 199–249 (1975).

# TRANSFORMATIONS OF A NUMERICAL TIME SERIES WITH THE USE OF A LINGUISTIC VARIABLE OF VALUES

Afanasieva T.V. (*tv.afanasjeva@gmail.com*)  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The paper represents five transformations of a numerical time series into time series having a different form of representation: fuzzy, linguistic and their combinations. To do this, first it is necessary to build a linguistic variable on the universe of values of a numerical time series.

**Keywords:** time series, fuzzy time series, linguistic variable, linguistic time series.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ СХОЖИХ КЛИЕНТОВ ПО ЗАДАНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ**

Фронина М.М. (*firulina1994@gmail.com*)

Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

Работа посвящена проблеме автоматизации процесса идентификации физических лиц в банковской сфере. Рассмотрены различные способы решения этой проблемы, их достоинства и недостатки. Также в статье описывается применение методов машинного обучения к данной задаче, а именно искусственные нейронные сети, и реализация решения в виде WEB-сервиса.

**Ключевые слова:** идентификация, машинное обучение, классификация, искусственная нейронная сеть.

### **1 Введение**

В настоящее время наблюдается неуклонный рост кредитной активности населения. Все больше людей покупают в кредит технику, автомобили, недвижимость и многое другое. Банки предлагают все новые и новые условия кредитования, которые привлекают все больше и больше клиентов. С увеличением числа запросов повышается нагрузка по обработке поступающих данных. Этот факт говорит о повышении актуальности задачи автоматизации данного процесса. А именно об автоматизированной идентификации клиентов.

Процесс идентификации физических лиц на кредитных процессах - процесс, который заключается в поиске схожих клиентов в некоторой базе и вынесении заключения о том, есть ли клиент в базе или необходимо завести новую запись в учетную систему.

Если поиск схожих клиентов довольно просто автоматизировать, то вынесение решения требует применения экспертизы человека. Поэтому требуются нестандартные интеллектуальные методы решения поставленной задачи.

Одним из способов решения проблемы является разработка WEB сервиса для автоматизированной идентификации клиентов с задаваемой в ходе создания модели вероятностью ошибки.

Данная статья содержит описание решаемой задачи, рассматривает методы решения, реализацию задачи, этапы построения модели и полученные результаты.

## 2 Задача идентификации физических лиц

Процесс идентификации физических лиц можно представить схемой, изображенной на рисунке 1:



Рисунок 1 – Схема процесса идентификации

На вход поступают данные о физическом лице. Оператор, исходя из существующей базы данных клиентов и известных правил идентификации, сравнивая данные существующих клиентов и поступившего, принимает решение: идентифицирован (клиент есть в базе), не идентифицирован (ФЛ является новым клиентом).

При исследовании процесса идентификации физических лиц в банке были выявлены следующие проблемы:

- большие трудозатраты на ручную идентификацию;
- большое влияние человеческого фактора в процессе.

Также выделены некоторые нюансы, которые необходимо учесть:

- нет необходимости полной автоматизации, особо спорные случаи могут быть выведены на ручной разбор оператору;
- в данных клиентов множество ошибок и опечаток;
- поля данных имеющие один смысл могут иметь разное написание (Например, Ниж. Новгород, Нижний Новгород);

- невозможность человека, обладающего экспертизой в предметной области участвовать в разработке продукта;
- есть накопленный материал о ранее принимаемых решениях (свыше 105 объектов).

Основываясь на выявленных ограничениях было принято решение применить к данной задаче методы машинного обучения.

### **3 Машинное обучение в задаче идентификации физических лиц**

Машинное обучение — обширный подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных обучаться. [Witten и др, 2011]

Так как имеются данные о паре клиентов и результате их сравнения, решаемую задачу следует отнести к задаче обучения с учителем.

Обучение с учителем — алгоритм, где каждый прецедент представляет собой пару «объект, ответ». [Michalski и др. 2013]. С помощью алгоритмов обучения с учителем решают следующие задачи:

- классификация отличается тем, что имеется конечное множество допустимых ответов, называемых метками классов;
- регрессия отличается тем, что ответом является действительное число или числовой вектор;
- ранжирование отличается тем, что полученные на множестве объектов ответы необходимо отсортировать по значениям;
- прогнозирование отличается тем, что объектами являются отрезки временных рядов, для которых необходимо сделать прогноз в момент, когда этот отрезок обрывается [Загоруйко, 1999].

Решаемую задачу целесообразно отнести к задаче классификации, где множество классов:  $K = \{\text{идентифицирован, не идентифицирован}\}$ .

В ходе исследования были рассмотрены методы байесовской классификации, методы ближайших соседей и опорных векторов, деревья решений и искусственные нейронные сети.

ИНС способны строить сложные нелинейные зависимости даже при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов, способны работать с коррелированными независимыми переменными [Hertz и др., 1991].

Следовательно, с учетом преимуществ использования ИНС для поставленной задачи автоматизации данный метод можно считать наиболее предпочтительным для использования.



## 4 Реализация задачи автоматизации

Для автоматизации задачи идентификации физических лиц разработан SOAP WEB сервис, который может быть встроен в существующие или разрабатываемые системы, реализующие процесс идентификации физических лиц. Для разработки сервиса была использована технология Spring Boot. Для решения выбран язык программирования Java, являющийся одним из самым используемых языков для реализации back-end решений.

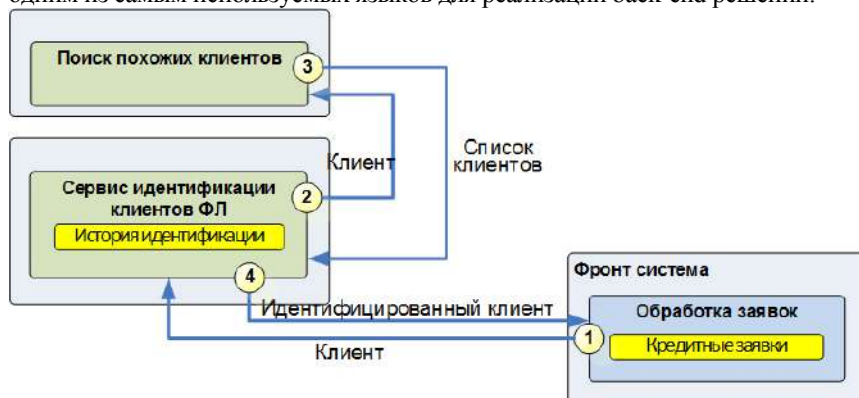


Рисунок 2 – Информационная архитектура

На рисунке 2 представлена информационная архитектура решения. Фронт система, получившая кредитную заявку, подает запрос на идентификацию сервису идентификации клиентов. Сервис идентификации использует сервис поиска похожих, который по определенным правилам выдает наиболее вероятные совпадения. Сервис идентификации принимает решение и возвращает либо идентифицированного клиента, либо список совпадений для ручного разбора.

Также разрабатываемым продуктом является инструмент для построения модели, получающий на вход необработанные данные и реализующий все этапы построения модели, которые будут описаны ниже. Данный инструмент представляет консольное приложение с командным интерфейсом работы.

## 5 Построение модели

Рассмотрим этапы построения модели для решения задачи идентификации.

### 5.1 Выборка данных для исследования

Для анализа используются данные об идентификации за 3 месяца. Данные представляются парами данных о клиентах и результатом идентификации (идентифицирован / не идентифицирован). Объем данных для исследования составляет примерно 100 тысяч пар.

## **5.2 Предобработка данных**

Для корректного построения модели необходимо провести очистку данных от синтаксического мусора, стандартизировать.

Необходимо выполнить следующие шаги предобработки данных:

1. Очистка данных от служебных символов, лишних пробелов.
2. Приведение строк к одному регистру.
3. Замена латинских символов на кириллицу, транслитерация.
4. Очистка данных от служебных слов (“город”, “республика”, “улица”, “НЕТ”, “NULL” и т.п.).
5. Замена устаревших названий городов на актуальные.

## **5.3 Преобразование данных**

Нейронные сети способны работать только с числовой информацией. Следовательно, необходимо найти способ представления записей о клиентах в числовом виде. Так как решается задача сравнения пар объектов, то наиболее подходящим способом преобразования является нахождение схожестей строк. Сходство вычисляется для каждого поля данных пары, в результате чего формируется массив, который пойдет на вход нейронной сети, в качестве одного из обучающих примеров.

Для вычисления степени схожести строк был выбран алгоритм Джаро-Винклера. Данная метрика является нормированной, а также ее значение наименее чувствительно к опечаткам, что было выявлено экспериментально.

## **5.4 Обучение нейронной сети**

Были рассмотрены библиотеки, имеющие интерфейс на языке Java. TensorFlow имеет не стабильный интерфейс на языке Java, а Apache SINGA написана на C++ и требует отдельной установки. Поэтому для решения задачи была выбрана библиотека Deeplearning4j, она написана на Java и не требует дополнительной установки.

Нейронная сеть обучается на обучающей выборке размером 35 тыс. образцов.

На текущий момент создана и обучена нейронная сеть со следующей конфигурацией:

- 8 входов (Значения схожести строк для полей: Фамилия, Имя, Отчество, Дата рождения, Место рождения, Номер паспорта, Дата выдачи паспорта, Адрес регистрации, Адрес проживания);
- 1 выход (результат идентификации [0,1]);

- 2 скрытых слоя структуры LSTM по 100 нейронов на каждом.

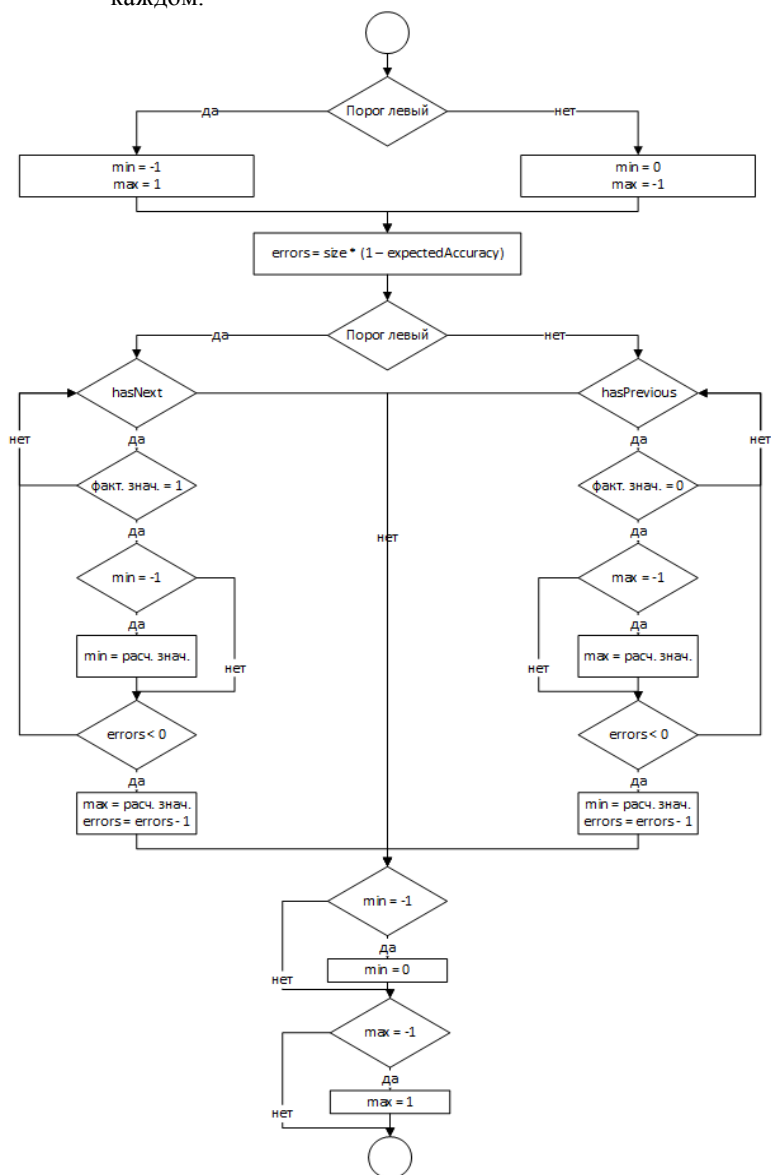


Рисунок 3 – Вычисление начальных границ

### 5.5 Промежуточная оценка качества обучения нейронной сети

Промежуточная оценка качества построенной модели производится с помощью расчета средней квадратической ошибки (см. формула 1). Также важным фактором является примерное равенство ошибок на всех трех выборках.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_{\phi} - y_p)^2}{n}}, \quad (1)$$

где  $y_{\phi}$  – фактическое значение выхода,  $y_p$  – расчетное значение выхода,  $n$  – количество примеров в выборке.

### 5.6 Расчет границ принимаемых решений

Выходом нейронной сети является одно число, в связи с чем встает вопрос о поиске границ для принятия положительного или отрицательного решения, а также требуется обеспечение необходимой точности принятия решений. В связи с этим требуется расчет двух порогов, для которых:  $\max \leq$  клиент идентифицирован,  $\min \geq$  клиент не идентифицирован, иначе запись выводится на ручной разбор оператору.

Принято решение сделать данные границы обучаемыми. Данный алгоритм предполагает расчет множества метрик классификации (точность, полнота, доля правильных ответов, ручной разбор). Для системного рассмотрения метрик используется метод анализа иерархий. В ходе обучения границы подстраиваются таким образом, чтобы иметь заданную ранее точность классификации и иметь наилучшие характеристики по методу анализа иерархий.

На рисунке 3 представлена схема расчета начальных границ, которые будут использованы для обучения порогов. Идея вычисления начальных границ состоит в следующем: на вход подается отсортированная по значению расчетных значений выборка, фиксируется допустимое количество ошибок, фиксируется момент появления первого ошибочного решения и по номеру максимального допустимого числа ошибок. В результате получаются 2 диапазона для положительно идентифицированных и отрицательно идентифицированных примеров.

На рисунке 4 представлена блок схема расчета порогов классификации.

Сначала рассчитываются начальные границы обучения порогов (см. рис. 3) и шаги обучения по формуле:

$$step = \frac{(\max - \min)}{\maxSteps}, \quad (2)$$

где  $\max$  – конец диапазона обучения (левого или правого),  $\min$  – начало диапазона обучения (левого или правого),  $\maxSteps$  – корень из максимального количества шагов обучения.

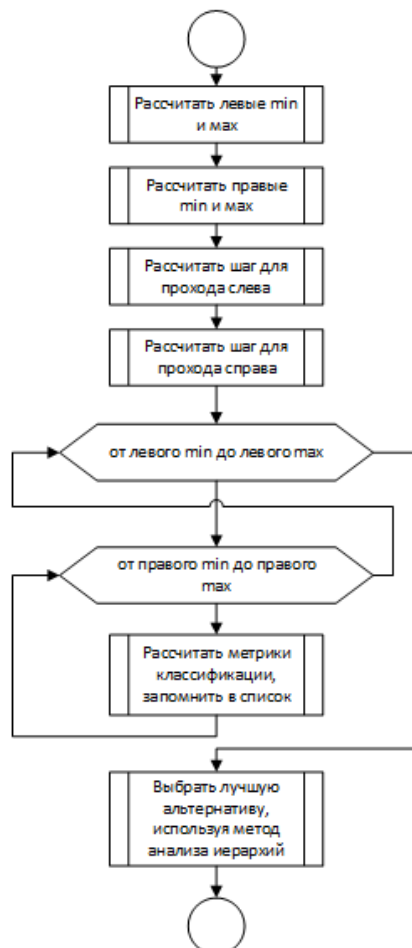


Рисунок 4 – Расчет порогов классификации

Далее для каждой пары порогов вычисляются метрики классификации [Olson и др., 2008]: точность (см. формула 3), полнота (см. формула 4), доля правильных ответов (см. формула 5) и доля ручного разбора (см. формула 6).

$$precision = \frac{tp}{tp+fp} \quad (3)$$

где  $tp$  – количество истинно положительных случаев,  $fp$  – количество ложно положительных случаев.

$$recall = \frac{tp}{tp+fn} \quad (4)$$

где  $fn$  – количество ложно отрицательных случаев.

$$accuracy = \frac{tp+tn}{n}, \quad (5)$$

где  $tn$  – количество истинно отрицательных случаев,  $n$  – количество примеров.

$$manual = \frac{Nm}{n} \quad (6)$$

где  $Nm$  – количество записей, выведенных на ручной разбор.

Рассчитанные метрики подаются на вход методу анализа иерархий, с помощью которого выбирается лучшая пара порогов.

### 5.7 Оценка качества полученных решений

Для оценки качества полученного решения необходимо подсчитать долю правильных ответов и долю ручного разбора. Исходя из сформулированной задачи автоматизации, данные показатели являются ключевыми для рассматриваемого бизнес-процесса. Качество модели оценивается на тестовой выборке.

## 6 Результаты построения модели

На текущий момент были проведены эксперименты для структур: сеть прямого распространения, рекуррентная НС, LSTM. Результаты представлены в таблице 1. Структура LSTM показала наименьшее значение среднеквадратической ошибки.

Таблица 1 – Эксперименты со структурами НС

Структура нейронной сети	Значение ошибки
Сеть прямого распространения	0,117
Рекуррентная НС	0,045
LSTM	0,015

Количество нейронов подбиралось исходя из значения среднеквадратической ошибки, а также исходя из сравнения ошибок на трех выборках: обучающая, для подбора порогов и тестовая.

При задании количества нейронов свыше 100 в скрытых слоях сеть переобучилась (на обучающей выборке ошибка намного меньше чем на остальных). В то время как для заданного количества нейронов значение среднеквадратической ошибки на всех выборках оказалось примерно одинаково и равно 0.015.

Качество модели оценивается на тестовой выборке. На текущей модели доля правильных ответов равна 0,9995% и доля ручного разбора равна 22%, что можно считать высоким результатом.

## **7 Заключение**

В связи с возможностью построения сложных зависимостей и отсутствия необходимости взаимодействия с экспертом при построении модели был выбран метод машинного обучения. Поставленная задача идентификации была сведена к задаче классификации случаев принятия решения.

В ходе исследования было выяснено, что результат, выдаваемый обученной НС, обладает большим потенциалом для дальнейшей обработки и адаптации к особенностям проблемной области.

Также в работе описаны выходные продукты разработки: инструмент для построения модели из сырых данных и WEB сервис для принятия решения. Инструмент используется для исследований различных структур и поведения модели при изменении параметров и, собственно, построения модели для использования в сервисе. WEB сервис является целевым продуктом для использования в бизнес процессе. Модель и использующий ее WEB сервис разработаны и готовы к бизнес тестированию. Дальнейшая работа по улучшению модели будет производиться согласно его результатам.

## **Список литературы**

- [Witten и др., 2011]** Witten I.H., Frank E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Third Edition). – San Francisco, 2011, 664 с.
- [Michalski и др., 2013]** Michalski R.S., Carbonell J.G., Mitchell T.M. Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach (Symbolic Computation). – Berlin. 2013. 572 с.
- [Hertz и др., 1991]** Hertz, J.A., Krogh, A. & Palmer, R. Introduction to the Theory of Neural Computation. – Addison-Wesley, Redwood City, 1991. 350 с.
- [Olson и др., 2008]** Olson, D. L., Delen, D. Advanced Data Mining Techniques, Springer, 1st edition, 2008, page 138.
- [Загоруйко, 1999]** Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. 270 с.

# **INVESTIGATION OF THE METHODS OF IDENTIFICATION OF SIMILAR CUSTOMERS ON THE ASSIGNED CHARACTERISTICS AND BUILDING A MODEL FOR SOLVING THE IDENTIFICATION OF PHYSICAL PERSONS**

Fronina M.M. (*firulina1994@gmail.com*)  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The paper describes the application of methods of machine learning in the problem of identification of individuals. The purpose of the work is the development of the WEB service for making decisions about the identification of individuals. To solve this problem, artificial neural networks are used.

**Keywords:** identification, machine-learning, classification, artificial neural network.



## ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ

Баязитов Г.А.<sup>1</sup> (*bgazinur.2011@mail.ru*)

Исхаков А.Р.<sup>2</sup> (*intellab@mail.ru*)

Рафиков А.Р.<sup>1</sup> (*rafikov.arsen@icloud.com*)

<sup>1</sup>Центр детского технического творчества «Биктырыш»,  
Уфа

<sup>2</sup>Башкирский государственный педагогический  
университет им. М.Акумулы, Уфа

В работе описываются методика параметрического синтеза системы технического зрения генетическим алгоритмом. Технология может быть использована для измерения площадей природных водоемов на спутниковых или аэрофотоснимках. Метод апробирован при измерении площади озера Аслыкуль Республике Башкортостан.

**Ключевые слова:** система технического зрения, адаптивность технической системы, измерение площади, параметрический синтез, нелинейная оптимизация, генетический алгоритм, FTI-2017.

### 1 Введение

Системой технического зрения (СТЗ) называется программно-аппаратный комплекс для наблюдения и захвата изображений с последующей обработкой, анализом и распознаванием объектов наблюдения в широком диапазоне электромагнитных волн [Исхаков и др., 2015; Исхаков, 2017]. Статья посвящена решению классической задачи по вычислению площадей и количества природных водоемов на картографических данных.

Идеи автоматического проектирования и разработки СТЗ нашли развитие в работах известных российских ученых и исследователей Ларкина Е.В. и Ивутина А.Н. Они задачу проектирования систем предлагают формулировать в виде задачи минимизации целевой функции, представляющей модель проектируемой программной системы, с ограничениями. В статье используются **принцип оптимального проектирования программной**

**части СТЗ предлагаемый Ларкиным Е.В. и Ивутиным А.Н.. Адаптивность математической модели** обработки и анализа изображений является еще одним **принципом построения методов математического моделирования обработки и анализа изображений**. Этот принцип основан на работе по адаптивным СТЗ Гридина В.Н., Титова В.С. и Труфанова М.И. [Исхаков и др., 2015; Исхаков, 2017].

Фундаментальные работы в области обработки, анализа и распознавания изображений также ведутся академиком Ю. И. Журавлевым и его учениками на базе Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН. В основу научных исследований положен алгебраический подход к задачам обработки, анализа и распознавания данных. К формированию алгебраического подхода к обработке, анализу и распознаванию изображений привели работы Г.Матерона, Ж.Серра, У.Гренандер, М.Павла, С.Стернберга и Г. Риттера. Последними разработками отечественного направления, руководимого И.Б. Гуревичем, являются дескриптивные алгебры изображений и дескриптивные алгебры изображений с одним кольцом (И.Б. Гуревич и В.В. Яшина) [Исхаков и др., 2015; Исхаков, 2017].

В статье предлагается методика разработки адаптивной системы технического зрения с применением математического аппарата модифицированных дескриптивных алгебр изображений. С применением предлагаемой методики, решена задача измерения площади и количества природного водоема. В вычислительном эксперименте использованы архивные изображения в инфракрасном диапазоне со спутника LandSat-5 [USGS, 2017; MapExpert, 2017].

## 2 Оценка параметров вычислительного эксперимента

Пусть заданы изображение природного водоема (рисунок 1, слева) и экспертная оценка его площади (рисунок 1, справа) [USGS, 2017; MapExpert, 2017].

Площадь природного водоема составляет  $S \approx 328,702 \text{ м}^2$ . Пусть измерение реальной площади озера производится с точностью  $\varepsilon = 50 \text{ м}^2$ , что составляет 15% от полной площади  $S$ . Тогда оценка погрешности в пикселях по формуле (1) равна  $\delta = \left\lceil \frac{2070 \cdot 15}{100} \right\rceil = \left\lceil \frac{31050}{100} \right\rceil = 310,5 \approx 311$  при числе существенных пикселей  $N_{pix} = 2070$ .

$$\delta = \lceil N_{pix} \cdot \varepsilon \rceil \quad (1)$$

Комбинаторная оценка сечения воронки  $K_{bin}$  в МДАИ  $R_{bin}$  по формуле (2) равна

$$K_{bin} = \sum_{l=p-\delta}^{p+\delta} C_{nm}^l = \sum_{l=1759}^{2381} C_{7254}^l = 3423393567 \cdot 10^{1993} \quad (2)$$

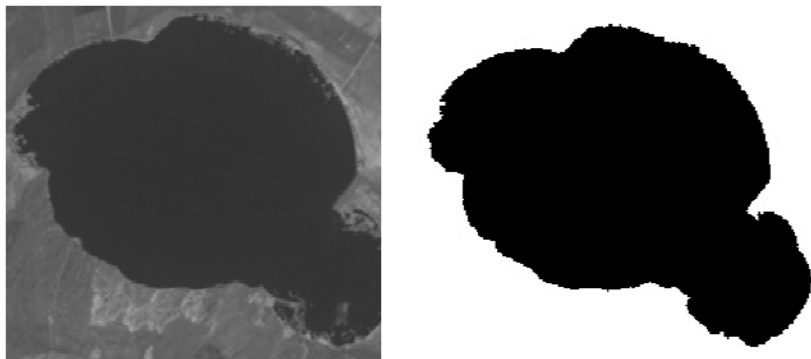


Рисунок 1 – Природный водоем в инфракрасном диапазоне (озеро расположено слева, а экспертная оценка его площади – справа)

При пороге конвертирования  $\theta=64$  по формуле (3) была получена оценка сечения воронки  $K_{gray}$  в МДАИ  $R_{gray}$  равной

$$K_{gray} = \sum_{l=p-\delta}^{p+\delta} C_{nm}^l \cdot \theta^{nm-1} \cdot (256 - \theta)^l = \sum_{l=1759}^{2381} C_{7254}^l \cdot 64^l \cdot 192^{7254-l} = 2190920805 \cdot 1017470 \quad (3)$$

Оценка сечения воронки  $K_{color}$  в МДАИ  $R_{color}$  по формуле (4) равна

$$K_{color} = (K_{gray})^3 = 0.1051671340 \cdot 10^{52409} \quad (4)$$

Следовательно, вероятность выбора начального изображения, позволяющего вычислить площадь  $S \approx 328,702 \text{ м}^2$  с погрешностью 15% по формуле (5) составляет

$$P(I_{color} \in N_{color}) = \frac{K_{color}}{256^{3nm}} = \frac{0.105167134 \cdot 10^{52409}}{0.131257799 \cdot 10^{52409}} = \frac{0.105167134 \cdot 10^{52409}}{0.131257799 \cdot 10^{52409}} \approx 0.8 \quad (5)$$

С приведенными результатами более детально можно ознакомиться в работах [Исхаков и др., 2015; Iskhakov et al., 2016; Iskhakov, 2016; Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017].

### 3 Измерительная функция системы технического зрения

Далее производится формирование начальных изображений с полученной вероятностью (5) и разрабатывается метод математического моделирования обработки и анализа изображений функцией СТЗ для измерения площади [Iskhakov et al., 2016; Iskhakov, 2016; Исхаков и др., 2017]. Для данной задачи был получен метод математического моделирования обработки и анализа изображений для вычисления количества по площади природного водоема (6) [Исхаков и др., 2015; Iskhakov et al., 2016; Iskhakov, 2016; Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017].

$$N = Alg(I_{color}; \langle n, \theta \rangle)$$

$$\begin{aligned}
\{I_{bin} = \|z_{ij}\|, I_{gray} = \|y_{ij}\|, I_{color} = \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\| \\
\|y_{ij}\| = O_T^{color \rightarrow gray}(\|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|; *), y_{ij} = \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor \\
\|\bar{y}_{ij}\| = O_T^{medfilt}(\|y_{ij}\|; n, W), \bar{y}_{ij} = med[y_{i+n, j+n}; (n, n) \in W] \\
\|z_{ij}\| = O_T^{gray \rightarrow bin}(\|\bar{y}_{ij}\|; *), z_{ij} = \begin{cases} 0, \bar{y}_{ij} < \theta \\ 1, \bar{y}_{ij} \geq \theta \end{cases} \\
m = O_P^{bwlabel}(\|z_{ij}, q\|), q \in \{4, 8\} \\
N = \left\{ \begin{array}{l} P(S), P(S) > 0 \\ m, P(S) = 0 \end{array} \right., S = \{S_k | k = \overline{1, m}, |S_{expert} - S_k| \leq \varepsilon, \varepsilon \in [0; 1]\} \quad (6)
\end{aligned}$$

#### 4 Параметрический синтез измерительной функции

Далее ставится задача нахождения оптимальных параметров двухпараметрической целевой функции  $G(\bar{\mu})$  с линейными ограничениями (7), которая получается с использованием метода обработки и анализа изображений (6) [Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017]:

$$\begin{aligned}
G(\bar{\mu}) = |N^* - O_P^{bwlabel}(O_T^{gray \rightarrow bin}(O_T^{medfilt}(O_T^{color \rightarrow gray}(*; \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|), n), \theta), *)| \rightarrow \\
\min_{\bar{\mu} \in X} X = \{\bar{\mu} | \bar{\mu} = \langle n, \theta \rangle; n > 6, 0 < \theta \leq 1\} \subset N \times Z, \quad (7)
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
\|y_{ij}\| = O_T^{color \rightarrow gray}(*; \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|), x_{ij} = \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor, x_{ij}, r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \in \{0, \dots, 255\} \\
\|\bar{y}_{ij}\| = O_T^{medfilt}(\|y_{ij}\|; n, W), \bar{y}_{ij} = med[y_{i+n, j+n}; (n, n) \in W] \in \{0, \dots, 255\} \\
\|z_{ij}\| = O_T^{gray \rightarrow bin}(\|\bar{y}_{ij}\|; *), z_{ij} = \begin{cases} 0, \bar{y}_{ij} < \theta \\ 1, \bar{y}_{ij} \geq \theta \end{cases} \\
m = O_P^{bwlabel}(\|z_{ij}, q\|), q \in \{4, 8\} \\
N = \left\{ \begin{array}{l} P(S), P(S) > 0 \\ m, P(S) = 0 \end{array} \right., S = \{S_k | k = \overline{1, m}, |S_{expert} - S_k| \leq \varepsilon, \varepsilon \in [0; 1]\}
\end{aligned}$$

Для решения нелинейной оптимизационной задачи использовался генетический алгоритм. Предварительно была получена поверхность целевой функции (7), которая позволила уменьшить пространство поиска на 60% (рис. 2) [Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017].

Исследования генетического алгоритма проводились с целью повысить его эффективность в минимизации целевой функции (7). Рассматривались параметры генетического алгоритма: число элитных особей, вероятность кроссинговера и вероятность мутации. В результате оптимизации были получены следующие точки минимума (таблица 1) [Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017].

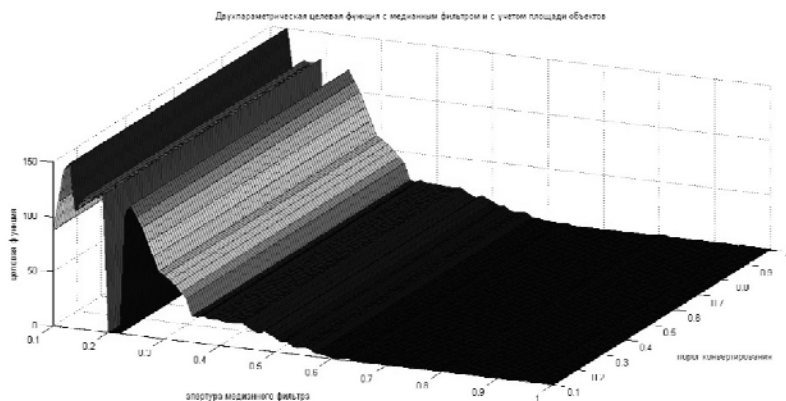


Рисунок 2 – Поверхность целевой функции (7)

Таблица 1 – Точки минимума двухпараметрической целевой функции

Апертура	Порог	Апертура	Порог	Апертура	Порог
0.8942	0.8708	0.9901	0.2189	0.5612	0.2173
0.8057	0.2316	0.924	0.2325	0.8252	0.2308
0.8784	0.2116	0.988	0.2215	0.8965	0.2221
0.1636	0.2221	0.974	0.2158	0.1	0.2214
0.9901	0.2189	0.8252	0.2308	0.5305	0.2213
0.7108	0.2153	0.1	0.2214	0.3782	0.2334
0.7303	0.2199	0.4526	0.2227	0.3149	0.2183
0.3896	0.2308	0.345	0.2262	0.1	0.2018
0.2162	0.2219	0.7506	0.2229	0.8613	0.2262
0.42	0.239	0.1	0.2018	0.8814	0.2181

Также была получена наиболее эффективная вероятность кроссинговера генетического алгоритма, равная 0.7 (рис. 3) [Исхаков, 2017].

Обнаруженные точки минимума с учетом вероятности кроссинговера, равной 0.7, образуют наборы значений (таблица 1) для параметров генетического алгоритма – апертура медианного фильтра и порог конвертирования. Результаты применения измерительной функции СТЗ, площадям новых природных водоемов, приведены в таблице 2 [Исхаков и др., 2017; Исхаков, 2017].

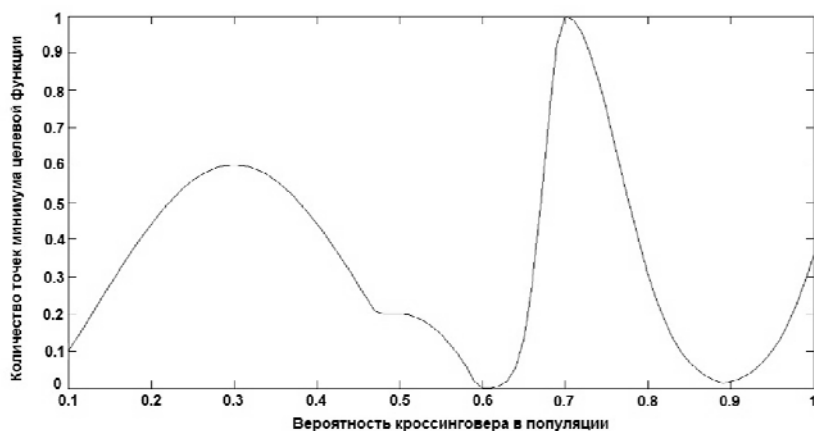


Рисунок 3 – Влияние вероятности кроссинговера на число точек минимума

Таблица 2 – Измерение площадей новых природных водоемов

Площадь, пиксель	Точность, %	Отклонение, %	Площадь, пиксель	Точность, %	Отклонение, %
3372	100.00	0.00	2957	87.69	0.12
3120	92.53	0.07	3011	89.29	0.11
2986	88.55	0.11	3027	89.77	0.10
3022	89.62	0.10	3022	89.62	0.10
2993	88.76	0.11	3158	93.65	0.06
3049	90.42	0.10	2917	86.51	0.13
3101	91.96	0.08	2993	88.76	0.11
3099	91.90	0.08	3039	90.12	0.10
3022	89.62	0.10	3123	92.62	0.07
3128	92.76	0.07	3039	90.12	0.10
3131	92.85	0.07	3099	91.90	0.08
3025	89.71	0.10	3068	90.98	0.09
2996	88.85	0.11	3055	90.60	0.09
2986	88.55	0.11	3110	92.23	0.08
3120	92.53	0.07	3117	92.44	0.08
3061	90.78	0.09	3064	90.87	0.09

## 5 Заключение

Таким образом, предлагаемая в статье методика позволяет разработать измерительную функцию системы технического зрения с применением математического аппарата модифицированных дескриптивных алгебр изображений и на выбранных в ходе имитационного эксперимента

начальных изображений. С применением этой функции ставиться задача оптимизации нелинейной (возможна и линейная форма) целевой функции с линейными ограничениями. Для решения оптимизационной задачи был использован генетический алгоритм, хотя допускается применение и других, классических методов оптимизации. Решения оптимизационной задачи представляют собой режимы измерения функции системы технического зрения. Полученные результаты измерения подлежат статистическому анализу. Подобный подход к построению систем технического зрения наделяет их свойством адаптивности, приближая эти системы к классу интеллектуальных систем.

### Список литературы

- [USGS, 2017] USGS [Электронный ресурс] // Официальный сайт геологической службы США USGS: [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 30.08.2017).
- [MapExpert, 2017] MapExpert [Электронный ресурс] // Официальный сайт MapExpert: [сайт]. URL: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=7&table=KA](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=7&table=KA) (дата обращения: 30.08.2017).
- [Исхаков и др., 2015] Исхаков А.Р., Маликов Р.Ф. Моделирование систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений: монография - Уфа: Изд-во БГПУ. 2015. 159 с.
- [Iskhakov et al., 2016] Iskhakov A.R. and Malikov R.F. Calculation of aircraft area on satellite images by genetic algorithm // Bulletin of the south ural state university. Series: «Mathematical modeling, programming & computer software». 2016. № 9(4). pp. 148-154.
- [Iskhakov, 2016] Iskhakov A.R. Mathematical methods of modeling of image processing and analysis in the modified descriptive algebras of images // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2016. № 3(1). pp.3-9.
- [Исхаков и др., 2017] Исхаков А.Р., Маликов Р.Ф. Метод измерения площадей природных водоемов на изображениях оптического диапазона спектра // Тезисы научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления-2017», Москва. 2017. с. 77-79.
- [Исхаков, 2017] Исхаков, А.Р. Методы математического моделирования обработки и анализа изображений в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Исхаков Алмаз Раилевич. – Уфа, 2017. – 164 с.

# CALCULATION OF LAKE AREA ON SATELLITE IMAGES BY GENETIC ALGORITHM

Bayazitov G.A.<sup>1</sup> (*bgazinur.2011@mail.ru*)

Iskhakov A.R.<sup>2</sup> (*intellab@mail.ru*)

Rafikov A.R.<sup>1</sup> (*rafikov.arsen@icloud.com*)

<sup>1</sup>Center for Children's Technical Creativity «Biktyrsh»,  
Ufa

<sup>2</sup>Bashkir State Pedagogical University named after  
M.Akmully, Ufa

The paper describes a technique for parametric synthesis of a vision system using the genetic algorithm. The technology can be used to measure the areas of natural water bodies on satellite or aerial photographs. The method is approved for measuring the area of Lake Aslykul of the Republic of Bashkortostan.

**Keywords:** vision system, adaptability of the technical system, area measurement, parametric synthesis, nonlinear optimization, genetic algorithm, FTI-2017.



## ALGORITHM OF GEOMETRIC SHAPES RECOGNITION USING SEGMENT-BASED SHAPE DESCRIPTORS<sup>1</sup>

Parasich A.V. (*parasichav@yandex.ru*)

Kaftannikov I.L. (*kil7491@mail.ru*)

Parasich V.A. (*pval6@yandex.ru*)

Parasich I.V. (*parasichiv@is74.ru*)

South Ural State University, Chelyabinsk

The problem is solved in the article is classification of geometric shapes. To solve this problem, shape descriptors in the form of a set of segments are constructed. Classification is done by each shape's descriptors comparison with descriptors of each shape exemplar. Robustness to scaling, rotations, translation and noise is achieved as a result of such classification procedure.

**Keywords:** Hough transform, contour analysis, shape classification, image classification, line finding, machine learning.

### 1 Introduction

This paper is focused on geometric shape recognition. Each shape is given as binary contours (Figure 1). It would be easy to generalize our solution for the case, in which figure's contour is not give (only contour extraction step will be added in the beginning of the algorithm). Each class of shape is defined by single image of their exemplar. Solution need to be invariant for scale, rotation, transposition of image, and robust to noise.

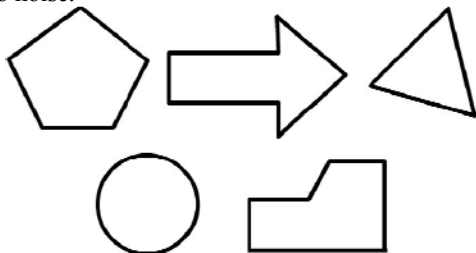


Figure 1 – Examples of recognized geometrical shapes

---

<sup>1</sup>The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract No 02.A03.21.0011.

## 2 Algorithm description

### 2.1 Problem analysis

One of the possible approaches to geometric figures classification task is the use of machine learning. But for successfully applying machine learning big labeled images training set is required (which in the conditions of the task should be created manually). In condition of our task only one exemplar of each figure is given. In such case, possible approach with machine learning usage is *k-Nearest Neighbor* algorithm. This algorithm requires placing exemplar and recognized images into some metric space and calculates distance between these objects in this metric space for classification. But only very stable object's features are appropriable for constructing this metric space, because if at least one of these features contains outlier, improper value, or highly dependent on noise, whole object with this feature would be placed into random position in this metric space, so distance for this object to other objects would be unreliable. Simple features like contour momentum do not possess this property. It is very hard to construct really stable shape features.

Another possible approach is keypoint matching by *SIFT* keypoint descriptors [Lowe, 2004] (or another similar descriptors). But keypoint neighborhood can vary greatly, and keypoint detector algorithm may be inaccurate.

Therefore approach based on segment-based descriptors comparison has been choosing. Figure recognition algorithm consist of building segment-based descriptor for each image and comparing descriptor of recognized figure with descriptors of all exemplar figures. Figure, those descriptor best matches recognized figure's descriptor, considered as representative of the type of recognized shape. Descriptors computation step consist of finding segments on image and represent a set of them in some parametric form. Descriptors comparison step consist of comparing those representation by some rule.

### 2.2 Algorithm of shapes descriptors computation

Classic algorithm for line detection on image is Hough transform [Duda, 1972]. But applying Hough transform in standard form didn't lead us to the desired result. Although the Hough transform is very robust to noise and discontinuities in an image, there are limiting drawbacks. As one can imagine from the description of the method, the Hough transform is incapable of finding the end points of a line. Furthermore short lines in the image result in only low peaks in the accumulator array and therefore are likely to be missed. Finally the Hough transform has a high computation time and requires a lot of memory, because there is one counter for every possible parameter combination.

When applying classical Hough transform on the image, a large number of similar straight lines was been detecting, slightly different in angle of rotation. This

made the resulting description of the figure in the form of a set of segments unsuitable for solving the problem of figure recognition. Applying Non-Maximum Suppression to the result of Hough transform did not help to solve the problem. To achieve sufficient accuracy, a large accumulator resolution in Hough transform algorithm is required, which dramatically reduces computational performance. Therefore additional stage of small segment detection and their subsequent integration into larger segments has been introduced.

In the first stage of the algorithm, Hough transform analog, based in binary contour image, is performed. Accumulator array filled with votes for lines with several parameters. But used realization is differs from classical Hough transform. Votes are performing for presence of small fixed size segments. Let's call such segments as atomic segments. Atomic segment defined by rotation angle around X-axis and coordinates of start point (X, Y). Thus, accumulator has 3 dimensions. Similar method used in work [Hirzer, 2008] in the task of rectangular marker recognition. In this work, atomic segments called edgelets.

Accumulator cells with sum of votes higher that several threshold threaten as presence of segment with respective parameters on the image, and this segment is added to list of candidate segments. After traversing the accumulator and candidate segment generation sorting of founded candidate segments by rotation angle around X-axis is performed.

On the next stage of algorithm, atomic segments unifying in large segments is doing. Segment, constructed as a result segments unifying, defined by these parameters: coordinates of start point (X, Y), segment length and rotation angle around X-axis. All atomic segments are busted. Parameters of new unified segment are initialized by parameters of some atomic segment, which is unprocessed now (length considered to be equal the default length of atomic segment). Next, for each of another unprocessed atomic segment, try to add this atomic segment to newly created unified segment. Atomic segment added to unified segment, if absolute value of rotation angle between atomic segment and unified segment are less that predefined threshold  $Ta$ , and minimal distance between end points of these segments are less that predefined threshold  $Td$ . Parameters of unified segment are updated after each of these additions as weighted mean of previous parameters of unified segment, and parameters of the atomic segment to be added.

Computational complexity of segment unifying algorithm is  $O(N^3)$ , where  $N$  – count of atomic segments, founded on image. After unifying atomic segments into large segments, unifying of intersected segments step is performed. Purpose of this step is to eliminate redundancy of description. Pair of intersected segments replaced by new segment with parameters, equal to parameters of larger segment of this pair. Computational complexity of

unifying intersected segments step is  $O(N^2)$ , where  $N$  – count of atomic segments, founded on image.

### 2.3 Algorithm of shapes descriptors comparison

For the comparison of 2 shapes descriptors, all possible pairs of segments ( $S_e, S_r$ ) are busted (the first segment of the pair belongs to the etalon image descriptor  $I_e$ , the second — to the recognizing image  $I_r$ ). For each pair of segments, one of the images is transformed so that the selected segments match (rotation, parallel transfer and scaling are used). Thus, invariance to the rotation and scaling of the figures is achieved. In this case, four variants of rotation of the segments relative to each other are busted (variant without changes, mirror image of the figure, 180-degree turn, 180-degree turn plus mirror image) to ensure the invariance to the mirror reversal of the figure. Because of figure descriptor transformation, it becomes possible to avoid a complete bust of all possible pixel-wise transformations of images when comparing them. This significantly saves computational resources, and also allows more accurate alignment of figures.

After these transformations, the metric of coincidence of descriptors is calculated on the basis of a comparison of their descriptions. For each segment  $S_e$  of exemplar image, metric of their covering by segments of the recognized figure  $S_r$  is calculated. For this metric calculation, all segments of the recognizing image  $s \in S_r$  are busted, and metric of their coincidence with each exemplar image's segment  $s \in S_e$  is calculated for each of these segments.

If the distance between segments is greater than a certain threshold  $Td$  or the angle of rotation of the segments relative to each other is greater than a value of  $Ta$ , segments are considered not to match, and this pair of segments ( $s, p$ ) in the metric calculation is not taken into account. Otherwise, the projections of the ends of one segment onto another segment are constructed and remembered; together with the coordinates of the point, information is kept about whether this point is the beginning or end of a segment. After all segments  $p \in S_r$  processing and choosing of coincidence segments, length of the covering of the segment  $s \in S_e$  by segments of another image  $p \in S_r$  are calculated using standard sweep line algorithm [Fortune, 1986].

Next, for all segments of the reference image  $s \in S_e$ , the metrics of the covering of a given segment by segments of another image are summed; if for some segment the coverage percentage is less than a certain threshold  $Tm$ , then the given value does not participate in the sum. The resulting sum is divided by the number of segments in the description of the reference figure  $K_e$  for normalization purposes. The value thus obtained is taken as the metric of similarity between two figures  $SM$ :

$$SM = \sum_{s \in S_e} f(c(s)),$$

$$where f(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x > tm \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Next, as a response (the class of a recognized figure), the reference figure with the maximum value of the similarity metric is returned; if the maximum of all values of the similarity metric is less than a certain threshold, it is considered that this figure is not contained in the database. Also, as the answer, the found parameters of that transformation are returned, which allows you to accurately combine the figures (recognizable figure and the most similar sample): the rotation angle of the figure and the scaling coefficients along the X and Y axes.

Thus, the computational complexity of the algorithm for comparing segmented descriptions of figures is  $O(E^2 * R)$ , where  $E$  — the number of segments in the sample description, and  $R$  — the number of segments in the description of the recognizable figure.

## 2.4 Experimental results

The algorithm was tested on the base of shapes containing 12 types of shapes and 92 recognizable shapes. The recognition accuracy was 94.74%. At the same time, the test set of the figures contained rather complicated noises: breaks and strong curvature of lines, extraneous small lines and spots, thickening of some lines; some of the figures were completely drawn using the "sprayer" tool in the Paint program (Figure 2). The developed algorithm allows achieving robustness to such types of distortions due to the transition from pixel-by-pixel comparison of shape images to comparison of their descriptors in the form of a set of segments, while the algorithm for finding segments is robust to various distortions and noises.

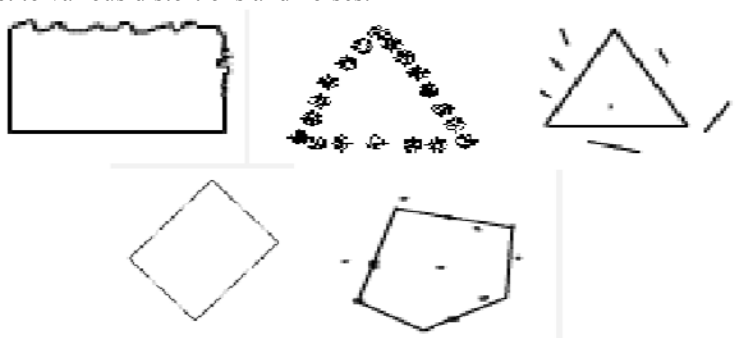


Figure 2 – Examples of noisy shapes, recognized by our algorithm

## 4 Conclusions

Algorithm for shape recognition with using of segment-based descriptors is presented in this article. Robustness to scaling, rotations, translation and noise is achieved as a result of using descriptors comparison as classification procedure.

The developed method can be used for recognizing other well-structured objects, like skeletons of binary images (for example, palms and fingerprints).

Quite often, recognition algorithms based on the skeletons of images use simple heuristic comparison methods that are potentially inferior to the method presented in this paper.

### References

- [Duda, 1972] Duda O. and Hart P. E.. Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures // Communications of the ACM, 1972, №15(1): pp. 11–15.
- [Fortune, 1986] Fortune S. A sweepline algorithm for voronoi diagrams. // In Proceedings of the second annual symposium on Computational geometry, ACM, 1986, pp. 313–322.
- [Hirzer, 2008] Hirzer M. Marker detection for augmented reality applications. // In Seminar/Project Image Analysis Graz, 2008 (pp. 1-2).
- [Lowe, 2004] Lowe D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. // International journal of computer vision, 2004, №60 (2): pp.91–110.

## АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ В ВИДЕ НАБОРА ОТРЕЗКОВ

Парасич А.В. (*parasichav@yandex.ru*)

Кафтанников И.Л. (*kil7491@mail.ru*)

Парасич В.А. (*pva16@yandex.ru*)

Парасич И.В. (*parasichiv@is74.ru*)

Южно-Уральский Государственный Университет,  
Челябинск

В работе рассмотрен алгоритм классификации фигур на основе сравнения описаний их контуров, представленных в виде набора отрезков. Процедура классификации состоит в сравнении описания фигуры с описанием образцов и выборе наиболее похожего образца. В результате достигается устойчивость распознавания к поворотам, масштабированию и зашумлению контура фигуры.

**Ключевые слова:** преобразование Хафа, классификация фигур, анализ контуров, классификация изображений, поиск прямых, машинное обучение.

## ПОДХОД К КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОРОТКИХ ТЕКСТОВЫХ ФРАГМЕНТОВ ПО ИЕРАРХИЧЕСКОМУ КЛАССИФИКАТОРУ

Дударин П.В. (*p.dudarin@ulstu.ru*)

Ярушкина Н.Г. (*jng@ulstu.ru*)

Ульяновский Государственный Технический  
Университет, Ульяновск

В данной работе предлагается подход к кластеризации коротких текстовых фрагментов основанный на особом способе представления объектов в пространстве признаков на базе иерархического классификатора. Также в работе предлагается набор критериев оценки качества кластеризации, позволяющий всесторонне оценить получаемое решение. Проведенные результаты экспериментов показывают способность данного подхода существенно улучшить качество кластеризации.

**Ключевые слова:** кластеризация, нечеткий классификатор, обработка естественного языка, критерии оценки кластеризации.

### 1 Введение

Современные методы машинного обучения все чаще становятся комплексными, включая в себя набор переплетенных атомарных методов. Например, кластеризация или классификация с использованием роевых [Zhang, 2014], муравьиных [Chen, 2010] или генетических [Karił, 2016] алгоритмов оптимизации. Нейронные сети глубокого обучения, с отдельными решаемыми задачами на каждом слое.

Аналогично, задача кластеризации ключевых показателей эффективности (КПЭ) Системы Стратегического Планирования Российской Федерации решаемая авторами [Дударин, 2017] декомпозировалась и превратилась в конвейер, состоящий из отдельных задач. В предыдущих работах был получен четкий иерархический классификатор тематик, имеющих в исследуемом наборе данных [Dudarin, 2018], а также была построена нечеткая кластеризация КПЭ на базе данного классификатора. Данная кластеризация позволила ответить на вопрос о том, какие показатели относятся к той или иной тематике. Например, если в классификаторе имеется узел, соответствующий тематике “спорт”, то на основе нечеткой кластеризации мы можем получить список показателей, имеющих отношение

к спорту с определенным весом. Например, узнать, что показатель “результаты игр хоккейного клуба в сезоне” относится к узлу с ключевыми словами “лыжи, хоккей, футбол, баскетбол, волейбол, спорт” со степенью 0,35. При этом остается открытой задача по получению групп КПЭ относящихся одновременно к схожему набору тематик, т.е. к схожим наборам узлов классификатора. Например, если в классификаторе имеются узлы, связанные со словами “учитель” и “зарплата”, то логично предположить, что имеется группа КПЭ которую можно было бы назвать “зарплата учителей”. Решению данной задачи и посвящена настоящая работа.

Для решения поставленной задачи предлагается рассматривать полученный ранее иерархический классификатор как пространство признаков, т.е. каждому узлу иерархии будет соответствовать отдельная размерность в представлении КПЭ. Соотношение между КПЭ и признаком можно строить на базе отношения  $R$ , представляющего нечеткую классификацию КПЭ. При этом легко заметить, что такие признаки не равноценны, например, включение корневого элемента иерархии в пространство признаков полностью лишено смысла с точки зрения информации о кластерах. Поэтому попытка проведения кластеризации без использования особой нормировки и/или весовых коэффициентов в метрике расстояний не даст хороших результатов кластеризации.

Дальнейшее изложение построено следующим образом: в главе 2 приведена формальная постановка задачи и обсуждаются критерии оценки качества решения, в главе 3 представлены варианты решения задачи и анализируются их результаты, в главе 4 подведены итоги проделанной работы, в заключение следует список используемой литературы.

## 2 Постановка задачи и определение критериев оценки качества решения

Формально постановка задачи выглядит следующим образом:

- имеется иерархический классификатор  $HG = \langle HV, HE \rangle$ , где  $HV$  – вершины классификатора, и  $HE$  – ребра, имеется набор объектов  $SL$  (список КПЭ), для  $SL$  определена нечеткая классификация отношением принадлежности  $R$ :  $(s \in SL, v \in HV_{\text{лист.}}) \rightarrow [0,1]$ , для родительских узлов отношение определяется как сумма степеней принадлежности соответствующих листовых узлов  $R$ :  $R: (s \in SL, v \in HV_{\text{род.}}) = \sum_{n \in HV_{\text{лист.}} \cap HV_{\text{доч.}}(v)} R(s, n)$ . Требуется построить четкую кластеризацию  $SL$  на основании пространства признаков задаваемого  $HG$ :  $Cluster(SL) = \{ \cup_{i \in [1,C]} c_i \mid \forall s \in SL \exists i \in [1,C], s \in c_i \}$ .

Для оценки качества решений полученных в ходе вычислительных экспериментов требуется определить критерии этой оценки. В общем случае, задача оценки качества кластеризации не тривиальна, так как



каждая задача и каждый алгоритм имеет свои особенности [Сибирёв, 2017]. В некоторых задачах отдается предпочтение определению количества кластеров, в других важнее получить максимально чистые группы. Алгоритмы кластеризации отличаются по форме формируемых кластеров, их плотности и организации в пространстве. Но даже в тех редких случаях, когда существует эталонная или близкая к эталонной кластеризация, решение о выборе критериев не становится очевидным.

Чаще всего в литературе встречаются критерии, основанные на сопоставлении результатов для пар объектов. Для вычисления этих критериев предварительно рассчитываются количества истинно- положительных (TP), истинно-отрицательных (TN), ложно-положительных (FP) и ложно-отрицательных (FN) результатов. После этого можно определить критерии, такие как Rand Index (RI), Precision, Recall и F-score [Christopher, 2009]. Данный набор критериев адекватно отражает качество кластеризации в случае, если количество кластеров совпадает с количеством классов (полученных от экспертов). Если число кластеров будет больше числа классов, то значение критерия recall будет не объективно низким и это отразится на RI и F-score, поэтому в данной работе эти критерии не рассчитываются. Характер критерия precision (попарной точности) ближе к характеру ниже определяемых критериев точности и чистоты, нежели чем к характеру одноименного критерия точности.

Другую группу возможных критериев образуют критерии, основанные на сопоставлении множеств. Наиболее часто используемым критерием такого типа является *чистота* [Amigo, 2009]:

$$Purity = \frac{1}{N} \sum_k \min_j (\omega_k \cap c_j),$$

где  $N = ||SL||$ ,  $\omega_k$  – класс  $k$ ,  $c_j$  – кластер  $j$

Данный критерий допустим в ситуации равновеликих классов и кластеров, но не будет работать в случае, если среди классов имеется один доминирующий. В этом случае критерий становится не чувствителен к чистоте минорных кластеров. К сожалению, в рассматриваемом примере имеет место именно такая ситуация, поэтому учитывая этот недостаток, предлагается использовать *среднюю (микро) чистоту*, а также определить *среднюю (микро) точность* и *среднюю (микро) аккуратность*. Для этого вначале определяется матрица сопоставления множеств:

$$CM = [cm_{i,j} = (\omega_i \cap c_j)], \omega_k \text{ – класс } k, c_j \text{ – кластер } j$$

Для каждой строки можно определить *точность* ( $Precision_i$ ) и *аккуратность* ( $Accuracy_i$ ):

$$Precision_i = \frac{\max_j CM(i,j)}{\sum_j CM(i,j)}$$

$$Accuracy_i = \frac{m_{\text{ж}} CM(i, j)}{\sum_k CM(k, j_{\max})}$$

Для каждого столбца можно определить чистоту (Purity<sub>i</sub>) [Mansoori, 2014]:

$$Purity_i = \frac{m_{\text{ж}} CM(j, i)}{\sum_j CM(j, i)}$$

Итоговые оценки получаются усреднением.

Данная система из трех критериев позволяет всесторонне оценить качество кластеризации. Точность показывает степень сосредоточенности элементов одного класса в одном кластере. А аккуратность и чистота в совокупности позволяют судить о количестве лишних элементов в кластерах.

При этом следует отметить, что никакие два из трех критериев не являются достаточными.

Без учета точности результат, содержащий количество кластеров равное количеству кластеризуемых объектов, будет считаться идеальным;

Без аккуратности решение, в котором почти все элементы помещены в один кластер, будет считаться идеальным.

Без чистоты в случае, если матрица сопоставления множеств имеет прямоугольную форму, т.е. число возвращаемых кластеров больше числа классов, не получится оценить аккуратность дополнительных кластеров.

В силу специфики решаемой задачи, т.к. число кластеров заранее не известно и является достаточно субъективным, то целесообразно предложить решение из большего числа кластеров, из которых можно собрать более крупные при необходимости, чем получить небольшое количество кластеров, в которых потом придется просматривать все элементы, чтобы найти лишние даже если их там будет не много. Поэтому при оценке предпочтение будет отдаваться аккуратности и чистоте.

### 3 Варианты решения и оценка качества на основе эталонной кластеризации

#### 3.1 Описание эталонной кластеризации, используемой в экспериментах

Для проведения экспериментов<sup>1</sup> и получения количественных оценок качества была взята выборка КПЭ относящихся к тематике “дошкольное образование” размером в 3029 КПЭ. Экспертами была проведена кластеризация и выделены 24 кластера. В таблице 1 для примера приведена часть классов с количеством КПЭ в них.

---

<sup>1</sup> Все исходные материалы для проведения экспериментов, программная реализация экспериментов и результаты доступны в проекте на github (<https://github.com/PavelDudarin/sentence-clustering>).

Таблица 1 – Классы тематики “дошкольное образование”

Тематическая группа	Кол-во
Аттестация персонала	75
Вариативные формы обучения	157
Государственные стандарты	9
Готовность выпускников	8
<b>Денежные выплаты и социальное обеспечение</b>	<b>5</b>
Заработная плата персонала	8
Инклюзивное образование	30
Инновационная деятельность	76
Квалификация персонала	47
Научные, творческие и спортивные мероприятия	63
<b>Очередь на поступление в образовательное учреждение</b>	<b>1394</b>
Повышение квалификации персонала	52

Особенностью данной выборки является наличие одного большого кластера “Очередь на поступление в образовательное учреждение” (1394 КПЭ) и большого числа мелких кластеров, что определенно усложняет задачу кластеризации.

Все ниже перечисленные эксперименты также были проведены для тематик “общее образование” и “высшее образование”. Результаты экспериментов были положительно оценены экспертами, что дополнительно подтверждает эффективность предлагаемого подхода.

### 3.2 Стандартная кластеризация

Итак, иерархический классификатор HG рассматривается как пространство признаков, в этом случае для каждого  $s \in SL$  требуется сопоставить точку в этом пространстве. Наиболее очевидный способ сделать это – воспользоваться отношением принадлежности  $R$  из имеющейся нечеткой классификации, таким образом, определена функция:

$$F: SL \rightarrow \mathbb{R}^n, \forall s \in SL F(s) = (s_1, s_2, \dots, s_n), \\ s_i = R(s, v_i), \quad n \in [1, ||HV||], v_i \in HV$$

Первый эксперимент проводился с использованием алгоритма k-means [Ball, 1965].<sup>1</sup> Данный алгоритм вернул несколько крупных кластеров, в которые попало большинство КПЭ. Оценки качества кластеризации приведены в таблице 2 в строке 1.

---

<sup>1</sup> Для проведения численных экспериментов были использованы библиотеки sklearn.cluster и hdbscan на языке python. Кластеризация алгоритмом HDBScan проводилась с параметром min\_cluster\_size = 7.

Второй эксперимент проводился с использованием алгоритма HDBScan [Campello, 2013]. Данный алгоритм в качестве альтернативного выбран по трем соображениям. Во-первых, это один из самых современных и широко используемых алгоритмов кластеризации. Во-вторых, метод поиска кластеров в нем опирается на плотность, а не на расстояние, что потенциально дает лучший эффект в многомерных пространствах. В-третьих, он имеет эффективную проверенную программную реализацию. Результаты приведены в таблице 2 строка 2.

Алгоритма HDBScan относится к алгоритмам истинной кластеризации, а не партиционирования как  $k$ -means, т.к. в ходе его работы часть объектов расценивается как шум и не соотносится ни с одним кластером. Такие элементы объединяются в один кластер “шума” [McInnes, 2017]. Толкование этого кластера зависит от задачи, некоторые задачи действительно содержат зашумленные данные, в этом случае эти элементы следует отбросить. В задаче кластеризации КПЭ в кластер “шума” чаще всего попадают показатели с длинной или нестандартной формулировкой, в этом случае они могут быть соотнесены с выявленными кластерами процедурой классификации.

Также можно заметить большое количество кластеров по сравнению с количеством классов, что негативно влияет на оценку точности алгоритма. Причина в указании параметра минимального количества элементов в кластере равного 7, что связано с желанием отдать приоритет аккуратности и чистоте по соображениям, приведенным в главе 2.

Расчет качества результатов работы алгоритма HDBScan производится без учета кластера “шума”, т.к. эти элементы считаются не кластеризованными. При этом некоторые классы могут целиком попадать в кластер “шума”, что крайне нежелательно, т.к. в этом случае последующая классификация кластера “шума” по результатам кластеризации даст не достоверный результат. Поэтому важно обращать внимание на соотношение точности с учетом кластера “шума” и без него.

Оба эксперимента показывают недостаточную аккуратность и чистоту кластеров, и это не удивительно. При таком подходе, учитывая, что в алгоритмах кластеризации чаще всего используется один из вариантов мер Минковского, все элементы иерархии вносят одинаковый вклад в расстояние между объектами. При кластеризации верхние узлы иерархии будут “стягивать” все объекты в один кластер, что отразится в высокой точности, но низкой аккуратности и чистоте кластеров в результатах экспериментов, что и наблюдается в результатах экспериментов.

### 3.3 Кластеризация с учетом весов узлов классификатора

Для того, чтобы отрегулировать влияние узлов иерархии, ослабив мало значимые и усилив значимые предлагается использовать следующую функцию:

$$F: SL \rightarrow \mathbb{R}^n, \forall s \in SL F(s) = (s_1, s_2, \dots, s_n),$$

$$s_i = R(s, v_i) * \frac{1}{\omega(v_i) * \sigma * \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \omega(v_i) - \mu)^2}{2 * \sigma^2}},$$

$$\omega(v_i) = ||\{s \in SL | R(s, v_i) > 0\}||, \quad n \in [1, |HV|], v_i \in HV.$$

Функция весового множителя обладает следующими свойствами:<sup>1</sup>

При  $\omega(v_i) = 0$  функция обращается в 0

При  $\omega(v_i) \rightarrow \infty$  функция стремится к 0

На положительном участке оси абсцисс функция имеет один глобальный максимум.

Параметр  $\sigma$  взят равным 1, а параметр  $\mu$  подбирается таким образом, чтобы максимум весовой функции приходился на среднее значение количества показателей соответствующих вершинам второго и третьего с конца уровней иерархии.<sup>2</sup> В данном примере  $\mu=3.7$  так чтобы максимум приходился на 15 показателей в одном узле иерархии.

Результаты экспериментов для алгоритмов k-means и HDBScan приведены в Таблице 2 в строках 3 и 4 соответственно. Результаты k-means по-прежнему неудовлетворительные, это связано с наличием одного мажорного кластера в выборке. А вот результаты HDBScan показывают отличный результат. Алгоритм вернул набор абсолютно аккуратных и чистых кластеров. Также можно заметить уменьшение размера кластера “шума” и количества возвращаемых кластеров, что является желательным эффектом.

При этом, сравнив значения в колонках 3 и 4 таблицы 2, можно заметить, что в кластер “шума” целиком попала часть классов, а точнее два – размер которых меньше 7 элементов. Изменив параметры HDBScan, установив, например, размер минимального кластера равного 5, можно добиться обнаружения всех классов, заплатив за это большим числом результирующих кластеров. Результаты данного эксперимента представлены в таблице 2 в строке 5.

---

<sup>1</sup> В данном примере взята функция логнормального распределения вероятностей, но может быть использована любая функция обладающая указанными свойствами

<sup>2</sup> Данное правило было выбрано эмпирически в результате проведения более чем 5000 экспериментов.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Название	Точность+ шум, %	Точность, %	Аккуратность, %	Чистота, %	Среднее, %	Шум, шт.	Кластеры, шт
1.K-means	-	64,9	39,9	84,7	63,2	-	24
2.HDbScan	51,4	55,5	84,8	97,2	79,2	914	104
3.K-means (вес)	-	76,8	43,2	94,4	71,5	-	24
4.HDbScan 7 (вес)	65	69,6	<b>99,1</b>	<b>99,1</b>	<b>89.2</b>	663	128
5.HDbScan 5 (вес)	<b>68,1</b>	<b>68,1</b>	99,1	99,4	88,9	441	189

## 4 Заключение

В данной работе был предложен способ представления объектов в пространстве признаков на базе иерархического классификатора, позволяющий эффективно решать соответствующую задачу кластеризации, а также был предложен набор критериев оценки качества кластеризации, позволяющий всесторонне оценить получаемое решение. Будучи применен в задаче кластеризации коротких текстовых фрагментов, данный способ позволил существенно улучшить получаемое решение (с 79.1% до 89.2%). Основными недостатками предложенного подхода являются: избыточное число кластеров и достаточно большой кластер шума. В рамках решаемой задачи указанные недостатки являются, скорее, особенностями и не препятствуют получению качественного решения, тем не менее, в дальнейшем планируется провести работу по улучшению предлагаемого подхода.

## Список литературы

- [Дударин, 2017] Дударин П.В., Ярушкина Н.Г. Алгоритм построения иерархического классификатора коротких текстовых фрагментов на основе кластеризации нечеткого графа // Радиотехника. 2017. № 6.
- [Сибирёв, 2017] Сибирёв И.В. Индексы оценки результатов кластеризации // Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии. Труды VII всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2017 том 1.
- [Amigo, 2009] Amigo E. Gonzalo.J Verdejo J., A comparison of Extrinsic Clustering Evaluation Metrics based on Formal Constraints // Departamento de Lenguajes y Sistemas Informaticos. UNED. Madrid. Spain. May 11, 2009
- [Ball, 1965] Ball, Geoffrey H., Hall, David J. Isodata: a method of data analysis and pattern classification. // Stanford Research Institute, Menlo Park, United States. Office of Naval Research. Information Sciences Branch. 1965.
- [Campello, 2013] Campello R., Moulavi D., and Sander J., Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates In: Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Springer. 2013

- [Chen, 2010] Chen Y., Han M., Zhu H. Ant Spatial Clustering Based on Fuzzy IF-THEN Rule. // Fuzzy Information and Engineering, 2010 Volume 78 of the series Advances in Intelligent and Soft Computing, 2010.
- [Christopher, 2009] Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan & Hinrich Schütze, An Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press. Cambridge, England. April 1, 2009
- [Dudarin, 2018] Dudarin P.V., Yarushkina N.G. An Approach to Fuzzy Hierarchical Clustering of Short Text Fragments Based on Fuzzy Graph Clustering. // Proceedings of the Second International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (ITI'17). ITI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. vol 679. Springer. Cham.
- [Kapil, 2016] Kapil S., Chawla M. and Ansari M. D., "On K-means data clustering algorithm with genetic algorithm". // Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC). Waknaghat. 2016.
- [Mansoori, 2014] Mansoori E.G. GACH: a grid based algorithm for hierarchical clustering of high-dimensional data. // Soft Computing, 2014. Volume 18, Issue 5.
- [McInnes, 2017] McInnes L., Healy J., Astels S., hdbscan: Hierarchical density based clustering In: Journal of Open Source Software, The Open Journal. 2017. Volume 2, number 11.
- [Zhang, 2014] Zhang J., Wang Y., Feng J. A hybrid clustering algorithm based on PSO with dynamic crossover. // Soft Computing, 2014. Volume 18, Issue 5.

## AN APPROACH TO CLUSTERING OF SHORT TEXT FRAGMENTS BY HIERARCHICAL CLASSIFIER

Dudarin P.V. (*p.dudarin@ulstu.ru*)

Yarushkina N.G. (*jng@ulstu.ru*)

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

In this paper an approach to clustering of short text fragments by hierarchical classifier is proposed. This approach is based on a special way of object representation in the dimension of features constructed by hierarchical classifier. Also, in order to reasonable perform quality evaluation of clustering results there is a set of criteria proposed in this paper. Presented experimental results show the ability of this approach to improve significantly the quality of clustering.

**Keywords:** clustering, fuzzy classifier, natural language processing, evaluation of clustering.

## АЛГОРИТМЫ АПОСТЕРИОРНОГО ВЫВОДА В АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЯХ: РАФИНИРОВАНИЕ МАТРИЧНО-ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ<sup>1</sup>

Мальчевская Е.А. (*katerina.malch@gmail.com*)

Золотин А.А. (*andrey.zolotin@gmail.com*)

Тулупьев А.Л. (*alexander.tulupyev@gmail.com*)

Институт информатики и автоматизации РАН,  
Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

В статье рассмотрены матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода в алгебраических Байесовских сетях. Введены основные термины, формулировки и понятия, связанные с локальным логико-вероятностным выводом. Кроме того, представлены уравнения для решения первой и второй задач апостериорного вывода для фрагментов знаний над идеалами конъюнктов и дизъюнктов, а также множеством пропозиций-квантов. Описанные уравнения используют нормирующие множители, такие как вектор-селектор и вектор-редистрибьютор. Теоретическое изложение аппарата локального апостериорного вывода дополнено описанием модуля программного комплекса, реализующего необходимые методы и структуры на основании приведенных уравнений и алгоритмов. Работа дополнена листингами основных операций логико-вероятностного вывода – проверки непротиворечивости, априорного вывода и апостериорного вывода.

**Ключевые слова:** вероятностные графические модели, алгебраические байесовские сети, логико-вероятностный вывод, априорный вывод, апостериорный вывод.

### 1 Введение

Теория вероятностных графических моделей (ВГМ) являются одной из областей искусственного интеллекта, дающей возможность связать

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-09001-а).



понятия данных, вероятностной логики и теории графов. Соединяя эти понятия, исследователь получает возможность анализировать данные, принимая во внимание их связанность между собой (например, последовательность состояний или причинно-следственные связи). К ВГМ относятся такие модели как марковские цепи и байесовские сети доверия, родственные алгебраическим байесовским сетям, рассматриваемым в данной работе. Вероятностные графические модели находят применение в ряде областей [Cai, 2017; Desforges, 2017; Dragicevic, 2017; Gharahbagheri, 2017; Kourou, 2017; Xing, 2017] и давно подтвердили свою состоятельность, однако АБС выделяются среди прочих ВГМ за счет нескольких факторов. Одним из таких факторов является структура АБС, предполагающая декомпозицию базы знаний на небольшие объемы данных, тесно связанных между собой, что позволяет ускорить алгоритмы обработки за счет возможности работать с ограниченным набором элементов. Иным фактором, влияющим на качество и скорость работы алгоритмов модели, является постановка решаемых задач. Целью данной статьи является суммаризация матрично-векторного подхода в уравнениях апостериорного вывода с использованием нормирующих множителей. Для достижения поставленной цели в работе также приводятся листинги алгоритмов, реализованных в программном комплексе на языке C# Вас есть два способа выдержать рассматриваемые ниже требования.

## 2 Матрично-векторные уравнения логико-вероятностного вывода

Для оперирования алгебраическими байесовскими сетями введем ряд формальных определений, которые необходимы для формализации задач логико-вероятностного вывода (ЛВВ) [Тулупьев и др., 2009].

Зафиксируем конечное множество атомарных пропозициональных формул – упорядоченный алфавит атомов  $A = \{x_i\}_{i=0}^{n-1}$  [Tulupyeu and oth., 2015]. Стоит отметить, что индексация атомов задает порядок в алфавите, который будет использован далее. Иными словами, алфавит атомов представляет собой набор элементарных высказываний экспертов о предметной области. Рассмотрим 3 набора пропозициональных формул, построенных над указанным алфавитом – идеал конъюнктов, идеал дизъюнктов и идеал квантов.

Первым обратим внимание на идеал конъюнктов [Tulupyeu and oth., 2015]:

$$C = \{x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k} \mid 0 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n-1, 0 \leq k \leq n\},$$

где  $x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k}$  означает конъюнкцию соответствующих переменных. Сам знак конъюнкции для удобства записи опустим.

Идеал представляет собой все возможные конъюнкции атомов заданного алфавита, в том числе пустую конъюнкцию и сами атомы. Литерал  $\tilde{x}_i$  означает, что на его месте в пропозициональной формуле может стоять либо  $x_i$ , либо его отрицание  $\bar{x}_i$ . Тогда определим второй набор атомов – идеал квантов над алфавитом  $A = \{x_i\}_{i=0}^{n-1}$  [Золотин и др., 2015].

$$Q = \{\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_{n-1}\}$$

Таким образом квант представляет собой конъюнкцию, которая для любой переменной из алфавита содержит либо ее саму, либо ее отрицание. С учетом заданного алфавита каждому кванту вида  $\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_{n-1}$  можно сопоставить характеристический вектор, а этому вектору двоичное число, которое рассматривается как номер кванта (или другими словами индексирует квант).

Третий рассматриваемый нами в данной работе набор формул – идеал дизъюнктов [Zolotin, 2016]:

$$\{x_{i_1} \vee x_{i_2} \vee \dots \vee x_{i_k} \mid 0 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n-1, 0 \leq k \leq n\},$$

где  $x_{i_1} \vee x_{i_2} \vee \dots \vee x_{i_k}$  означает дизъюнкцию соответствующих переменных. Идеал дизъюнктов содержит все возможные дизъюнкции атомов заданного алфавита, в том числе пустую дизъюнкцию и сами атомы.

Для каждого набора определим векторы вероятностей конъюнктов, дизъюнктов и квантов соответственно:

$$P_c = \begin{pmatrix} 1 \\ p(c_1) \\ \vdots \\ p(c_{2^n-1}) \end{pmatrix}, P_d = \begin{pmatrix} 0 \\ p(d_1) \\ \vdots \\ p(d_{2^n-1}) \end{pmatrix}, P_q = \begin{pmatrix} p(q_0) \\ p(q_1) \\ \vdots \\ p(q_{2^n-1}) \end{pmatrix}$$

Например, для фрагмента знаний, построенного над двумя атомами  $\{x_1, x_2\} \subset A$ , векторы вероятностей квантов, конъюнктов и дизъюнктов будут выглядеть следующим образом:

$$P_c = \begin{pmatrix} 1 \\ p(x_1) \\ p(x_2) \\ p(x_2 x_1) \end{pmatrix}, P_d = \begin{pmatrix} 0 \\ p(x_1) \\ p(x_2) \\ p(x_2 \vee x_1) \end{pmatrix}, P_q = \begin{pmatrix} p(\tilde{x}_2 \tilde{x}_1) \\ p(\tilde{x}_2 x_1) \\ p(x_2 \tilde{x}_1) \\ p(x_2 x_1) \end{pmatrix}$$

Заметим, что все три вектора можно выразить друг через друга (за счет преобразований через вектор квантов). Ниже приведены уравнения, выражающие связь вектора вероятностей конъюнктов и вектора вероятностей квантов [Tulupov and oth., 2015]:

$$P_q = I_n P_c, \quad P_c = J_n P_q,$$

где  $I_n = I_1^{[n]}$ ,  $I_1 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ , а  $J_n = J_1^{[n]}$ ,  $J_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ , при этом  $[n]$  – степень Кронекера (далее эта операция будет обозначаться как  $\otimes$ , что означает тензорное (прямое) произведение матриц). Теперь обратимся к вектору вероятностей дизъюнктов  $P_d$  и вспомогательному вектору

$P'_d = 1 - P_d$ , где  $1$  – единичный вектор такой же длины, как и вектор  $P_d$ . Для перехода между векторами вероятностей конъюнктов и дизъюнктов будем пользоваться полученными ранее формулами [Zolotin, 2016]:

$$P_q = L_n P'_d, \quad P_c = K_n P'_d,$$

$$\text{где } L_n = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}^{[n]}, \text{ а } K_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}^{[n]}.$$

С точки зрения типов оценок вероятностей АБС могут быть двух видов – скалярные и интервальные [Tulupuev and oth., 2015]. Рассмотрим каждый из типов оценок на примере фрагмента знаний, сформированного над множеством пропозиций-квантов. В случае обработки скалярных оценок вероятностей преобразования будут производиться с фрагментов знаний  $\langle C, P_q \rangle$ , а в случае интервальных оценок вероятностей с фрагментом знаний с интервальными оценками  $\langle C, P_q^-, P_q^+ \rangle$ , где  $C$  – носитель фрагмента знаний, то есть множество квантов, упорядоченных согласно принятой индексации. В случае фрагмента знаний с интервальными оценками допустимые значения вероятности  $P_q[i]$  лежат в закрытом интервале  $[P_q^-[i]; P_q^+[i]]$ . Здесь и далее обозначение  $P[i]$  подразумевает  $i$  – ю компоненту вектора  $P$ .

Кроме того, для перехода к алгоритмам ЛБВ нам необходимо ввести понятие согласованного фрагмента знаний, так как все операции проводятся над непротиворечивыми (согласованными) данными [Тулупьев, 2007]. Пусть задан фрагмент знаний со скалярными оценками  $\langle C, P_q \rangle$ . Мы говорим, что он непротиворечив тогда и только тогда, когда существует вероятность  $p_F$ , заданная над множеством пропозициональных формул  $F(A)$ , такая что:

$$\forall c \in C \quad p_F(c) = p(c).$$

$F(A)$  обозначается множество всех пропозициональных формул над алфавитом  $A$ .

В случае с интервальным фрагментом знаний необходимо ввести два понятия – согласованный и согласуемый фрагмент знаний. Пусть задан фрагмент знаний с интервальными оценками  $\langle C, P_q^-, P_q^+ \rangle$ . Мы говорим, что он непротиворечив (согласован) тогда и только тогда, когда для любого элемента из носителя фрагмента знаний и любого  $\varepsilon \in p(c)$  найдется функция  $p_{C,\varepsilon}: C \rightarrow [0; 1]$  такая, что  $p_{C,\varepsilon}(c) = \varepsilon$  и  $(C, p_{C,\varepsilon})$  – непротиворечивый фрагмент знаний по прошлому определению.

Пусть задан фрагмент знаний с интервальными оценками  $\langle C, P_q^-, P_q^+ \rangle$ . Мы говорим, что он согласуем тогда и только тогда, когда существует непротиворечивый (согласованный) фрагмент знаний с интервальными оценками  $[P_q^{-'}, P_q^{+'}]$  такой, что:

$$\forall c \in C [P_q^{-'}, P_q^{+'}] \subseteq [P_q^{-}, P_q^{+}].$$

## 2.1 Задача апостериорного вывода

Для описания задачи апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях воспользуемся понятием свидетельства. Под свидетельством понимаются новые "обуславливающие" данные, которые поступают в фрагмент знаний и с учетом которых необходимо пересчитать все (или некоторые) оценки вероятностей [Тулупьев и др., 2015]. В теории АБС различают 3 вида свидетельств: детерминированное, стохастическое и неточное [Тулупьев, 2007]. Дадим определение каждому из указанных типов.

Под *детерминированным свидетельством* понимают предположение о том, что один или несколько атомов получили конкретные означивания. Заметим, что такое свидетельство можно разбить на "положительный" и "отрицательный" кванты. В первый входят все положительно означенные атомарные переменные свидетельства, а во второй – отрицательно. При этом и положительной, и отрицательной части можно сопоставить индекс, соответствующий десятичному представлению двоичного числа, являющегося характеристическим вектором соответствующей составляющей свидетельства.

*Стохастическое свидетельство* – это предположение о том, что над подыдеалом  $C'$  идеала  $C$  задан непротиворечивый фрагмент знаний со скалярными оценками вероятности истинности элементов.

*Неточное свидетельство* – предположение о том, что над подыдеалом  $C'$  задан непротиворечивый фрагмент знаний с интервальными оценками, который определяет вероятности истинности элементов соответствующего подыдеала.

Стоит отметить, что ключевым случаем является пропация детерминированного свидетельства, так как на основании предложенного в данном случае уравнения строится алгоритм пропации стохастического свидетельства, а также задача линейного программирования для случая неточного свидетельства, поэтому в данной работе внимание будет сфокусировано лишь на детерминированном свидетельстве.

Первая задача апостериорного вывода заключается в том, чтобы оценить вероятность поступления рассматриваемого свидетельства при уже заданных оценках вероятности истинности элементов фрагмента знаний.

Вторая задача апостериорного вывода заключается в том, чтобы переоценить условные вероятности истинности элементов фрагмента знаний при предположении, что имеет место быть свидетельство. Далее, положим, что в рассматриваемый фрагмент знаний поступило свидетельство  $\langle c_i, c_j \rangle$ . Ниже приведем один за одним уравнения для решения первой и второй задач

апостериорного вывода для фрагментов знаний, построенных над идеалом конъюнктов, идеалом дизъюнктов и множеством пропозиций-квантов.

Сперва рассмотрим фрагмент знаний над пропозициями-квантами [Золотин и др., 2015]. Решение первой задачи апостериорного вывода запишется следующим образом:

$$p(\langle c_i, c_j \rangle) = (s^{(i,j)}, P_q),$$

$$\text{где } s^{(i,j)} = \tilde{s}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{s}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{s}_0^{(i,j)}, \tilde{s}_k^{(i,j)} = \begin{cases} s^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ s^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ s^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$s^+ = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; s^- = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}; s^0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Уравнение для вектора вероятностей квантов нормированного апостериорного вывода выглядит следующим образом:

$$P_q^{(i,j)} = \frac{1}{(s^{(i,j)}, P_q)} H^{(i,j)} P_q,$$

где

$$H^{(i,j)} = \tilde{H}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{H}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{H}_0^{(i,j)}, \tilde{H}_k^{(i,j)} = \begin{cases} H^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ H^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ H^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$H^+ = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; H^- = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; H^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для перехода к условным вероятностям конъюнктов, необходимо умножить полученный вектор на  $J_n$  [Тулупьев, 2007]. Таким образом, получим решения первой задачи апостериорного вывода для ФЗ над идеалом конъюнктов [Тулупьев и др., 2015]:

$$p(\langle c_i, c_j \rangle) = (r^{(i,j)}, P_c),$$

$$\text{где } r^{(i,j)} = \tilde{r}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{r}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{r}_0^{(i,j)}, \tilde{r}_k^{(i,j)} = \begin{cases} r^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ r^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ r^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$r^+ = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; r^- = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}; r^0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

В принятых обозначениях решением второй задачи апостериорного вывода будет [Тулупьев и др., 2015]:

$$P_c^{(i,j)} = J_n \frac{1}{(r^{(i,j)}, P_c)} H^{(i,j)} I_n P_c.$$

Введем матрицу перехода к условным вероятностям конъюнктов  $T^{(i,j)} = J_n H^{(i,j)} I_n$ .

Тогда полученное выше соотношение для решения второй задачи апостериорного вывода можно записать компактнее [Тулупьев и др., 2015]:

$$P_c^{(i,j)} = \frac{1}{(r^{(i,j)}, P_c)} T^{(i,j)} P_c,$$

где матрица  $T^{(i,j)}$  может быть вычислена по следующей формуле:

$$T^{(i,j)} = \tilde{T}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{T}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{T}_0^{(i,j)}, \tilde{T}_k^{(i,j)} = \begin{cases} T^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ T^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ T^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$T^+ = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; T^- = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; T^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Наконец рассмотрим ФЗ над идеалом дизъюнктов. Решением первой задачи апостериорного вывода в таком случае будет следующее уравнение [Zolotin, 2016]:

$$p(\langle c_i, c_j \rangle) = (d^{(i,j)}, p'_d),$$

$$\text{где } d^{(i,j)} = \tilde{d}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{d}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{d}_0^{(i,j)},$$

$$\tilde{d}_k^{(i,j)} = \begin{cases} d^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ d^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ d^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$d^+ = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}; d^- = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; d^0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Аналогично случаю с идеалом конъюнктов и множеством пропозиций-квантов решение второй задачи апостериорного вывода записано ниже:

$$p_d^{(i,j)'} = \frac{1}{(d^{(i,j)}, p'_d)} M^{(i,j)} p'_d,$$

$$\text{где } M^{(i,j)} = \tilde{M}_{n-1}^{(i,j)} \otimes \tilde{M}_{n-2}^{(i,j)} \otimes \dots \otimes \tilde{M}_0^{(i,j)},$$

$$\tilde{M}_k^{(i,j)} = \begin{cases} M^+, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_i; \\ M^-, & \text{если } x_k \text{ входит в } c_j; \\ M^0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$M^+ = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; M^- = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; M^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

### 3 Программный комплекс

Ранее был создан программный комплекс по визуализации и обработки алгебраических байесовских сетей AlgBN. Он включает в себя несколько частей: Web интерфейс AlgBN Web App, который позволяет пользователю создавать и редактировать АБС, графически отображать различные типы структур АБС, а также осуществлять логико-вероятностный вывод и отображать его результаты; математическую библиотеку AlgBN Math Library, в которой производится генерация согласованных оценок вероятности истинности для ФЗ и АБС и выполняются операции логико-вероятностного вывода; базы данных AlgBN Database, в которой хранятся данные пользователя, созданных проектов, алгебраических байесовских сетей; и наконец, REST уровня, который обрабатывает запросы с клиентской части,

вызывает методы математической библиотеки и производит вызов операций БД на запись и чтение данных из базы.

Как было сказано, все математические операции над АБС осуществляются в математической библиотеке. В случае, когда пользователь хочет выполнить какую-то из операций локального ЛБВВ над заданной им АБС, сначала запрос об этом поступает на REST уровень, а далее на этом уровне вызывается нужный метод математической библиотеки, позволяющий осуществить этот вид вывода.

При вызове метода библиотеки, сначала создается модель АБС того типа и с теми оценками вероятности истинности, которые задал пользователь на Web-уровне, затем, в зависимости от вида вывода, задается, либо пропозициональная формула, вероятность которой будет искажаться в рамках задачи априорного вывода, либо свидетельство выбранного типа для решения первой и второй задач апостериорного вывода. В случае проверки или поддержания непротиворечивости в ФЗ никаких дополнительных элементов создавать не требуется.

Поскольку в случае локального ЛБВВ подразумевается, что мы оперируем только с АБС, состоящей из одного ФЗ, то в дальнейшем изложении будем говорить, что мы оперируем с ФЗ, подразумевая под этим АБС, состоящую из одного ФЗ.

В библиотеке существует два вида структур, осуществляющих локальный ЛБВВ: для поддержания непротиворечивости и априорного вывода – Инфереры, для апостериорного вывода – Пропагаторы.

Далее рассмотрим каждый из видов вывода и то, каким образом он реализуется в математической библиотеке AlgBN Math Library, в отдельности.

Стоит отметить, что термин “поддержание непротиворечивости” в основном применяется к ФЗ с интервальными оценками вероятности истинности, поскольку у ФЗ такого типа может быть три состояния: его оценки могут быть противоречивыми, согласованными и согласуемыми, то есть мы можем сузить оценки (согласовать их) таким образом, что оценки в ФЗ станут согласованными. В случае ФЗ со скалярными оценками вероятности истинности мы можем только проверить, являются ли его оценки согласованными или нет, ни о каком согласовании речь не идет.

### **3.1 Проверка и поддержание непротиворечивости**

Для проверки непротиворечивости ФЗ со скалярными оценками вероятности истинности создается экземпляр класса `ScalarConjunctsLocalInferer`. Далее у экземпляра вызывается метод `processKP`, который запускает проверку и в параметрах у которого указывается созданный ранее ФЗ, чью непротиворечивость мы хотим проверить. У класса `ScalarConjunctsLocalInferer` имеется поле, в которое записывается результат проверки. Оно равно `TRUE`, когда исходный ФЗ

был непротиворечивым и FALSE – иначе. На листинге 1 приведен код примера проверки непротиворечивости для ФЗ со скалярными оценками вероятности истинности.

```
double[] bound = {1, 0.7, 0.5, 0.3};  
ScalarConjKP_I scKP = new ScalarConjKP(Convert.ToInt64("11", 2),  
bound);  
var inf_sc = new ScalarConjunctsLocalInferer();  
inf_sc.processKP(scKP);  
inf_sc.isConsistent();
```

Листинг. 1: Проверка непротиворечивости в ФЗ со скалярными оценками.

В случае интервальных оценок создается экземпляр класса IntervalConjunctsLocalInferer, у которого также в параметрах должен быть указан ФЗ. По аналогии со скалярным случаем, мы вызываем метод processKP, который проверяет и поддерживает непротиворечивость оценок исходного ФЗ. У класса IntervalConjunctsLocalInferer имеются поля, в которые записываются результаты проверки: противоречив ли ФЗ, можно ли оценки вероятностей элементов ФЗ уточнить и ФЗ, либо с уточненными оценками (когда исходный ФЗ был согласуемым), либо с исходными оценками (когда оценки исходного ФЗ были согласованными или противоречивыми). На листинге 2 приведен код примера проверки непротиворечивости для ФЗ с интервальными оценками вероятности истинности.

```
IntervalConjKP_I intKP = new IntervalConjKP(Convert.ToInt64("11", 2),  
new[] {1, 0.46, 0.29, 0.33}, new[] {1, 0.7, 0.5, 0.9});  
var inf = new IntervalConjunctsLocalInferer();  
inf.processKP(intKP);  
intKP.GetBoundsL();
```

Листинг. 2: Проверка непротиворечивости в ФЗ с интервальными оценками.

### 3.2 Априорный вывод

Локальный априорный вывод в ФЗ осуществляется той же машиной вывода. Что и поддержка непротиворечивости. У каждого ФЗ имеется список ассоциированных с ним линейных форм, то есть пропозициональных формул, заданных над тем же алфавитом, что и ФЗ. Для того, чтобы вычислить вероятность некоторой формулы, мы добавляем ее в список линейных форм к ФЗ, а далее осуществляем те же действия, что и при проверке непротиворечивости. В данном случае у нас сначала проверяется/поддерживается непротиворечивость во фрагменте знаний, а



далее, если список линейных форм не пуст, то решается задача априорного вывода для каждой формулы из этого списка. Результат может быть получен с помощью следующих действий `getResult().getLinearForm("FormName")`. На листинге 3 представлен код примера проверки непротиворечивости и вычисления вероятности для импликации двух переменных для ФЗ со скалярными оценками вероятности истинности. Решение задачи априорного вывода для ФЗ с интервальными оценками происходит аналогичным образом.

```
double[] bound = {1, 0.7, 0.5, 0.3};
ScalarConjKP_I scKP = new ScalarConjKP(Convert.ToInt64("11", 2),
bound);
var inf_sc = new ScalarConjunctsLocalInferer();
scKP.addLinearForm("x0=>x1", 2);
inf_sc.processKP(scKP);
inf_sc.getResult().getLinearForm("Implication").getLB();
```

Листинг. 3: Априорный вывод в ФЗ со скалярными оценками.

### 3.3 Апостериорный вывод

Локальный апостериорный вывод может осуществляться для ФЗ со скалярными и интервальными оценками вероятности истинности, куда может поступить детерминированное, стохастическое или неточное свидетельство.

В программном комплексе детерминированные свидетельства задаются как бинарные ФЗ, стохастические – как скалярные ФЗ, а неточные – как стохастические, что согласуется с теорией и функцией свидетельства.

Для каждого вида свидетельства при проведении апостериорного вывода в ФЗ со скалярными оценками существует свой класс: `DeterministicScalarConjunctsLocalPropagator`, `StochasticScalarConjunctsLocalPropagator` и `ImpreciseScalarConjunctsLocalPropagator`, для детерминированного, стохастического и неточного свидетельства соответственно.

Для решения задач апостериорного вывода создается ФЗ и свидетельство нужного типа, далее создается экземпляр, соответствующего рассматриваемому виду вывода, класса. У конструкторов классов `DeterministicScalarConjunctsLocalPropagator` и `StochasticScalarConjunctsLocalPropagator` ФЗ передается в параметрах, а у в классе `ImpreciseScalarConjunctsLocalPropagator` задается отдельно следующим образом: `prop.setPattern(KP)`.

```
ScalarConjKP_I kp = new ScalarConjKP(Convert.ToInt64("11", 2),
new[] {1, 0.6, 0.4, 0.2});
ImpreciseScalarConjunctsLocalPropagatorI scprop = new
ImpreciseScalarConjunctsLocalPropagator();
```

```

scprop.setPattern(kp);
IntervalConjKP_I evid = new IntervalConjKP(Convert.ToInt64("01", 2),
new[] {1, 0.1}, new[] {1, 0.6});
scprop.propagate(evid);
scprop.getEvidenceProbabilityLB();
scprop.getResult().GetBoundsL();

```

Листинг. 4: Апостериорный вывод в ФЗ со скалярными оценками.

При вызове функции `propagate(evidence)` у соответствующего пропагатора решаются обе задачи апостериорного вывода. Результат решения первой задачи, то есть вероятность свидетельства можно получить таким образом: `prop.getEvidenceProbability()`; а результат вычисления второй задачи, условные вероятности ФЗ таким: `prop.getResult()`.

На листинге 4 приведен код примера пропагации неточного свидетельства в ФЗ со скалярными оценками вероятности истинности, а на листинге 5 – детерминированного в ФЗ с интервальными оценками вероятности.

```

IntervalConjKP_I kp = new IntervalConjKP(Convert.ToInt64("11", 2),
new[] {1, 0.2, 0.3, 0.06}, new[] {1, 0.4, 0.58, 0.29});
DeterministicIntervalConjunctsLocalPropagatorI scprop = new
DeterministicIntervalConjunctsLocalPropagator(kp);
var evid = new BinaryConjKP(Convert.ToInt64("01", 2));
scprop.propagate(evid);
scprop.getEvidenceProbabilityLB();

```

Листинг. 5: Апостериорный вывод в ФЗ с интервальными оценками.

## 4 Заключение

Данная работа содержит основные термины и понятия, связанные с алгебраическими байесовскими сетями и логико-вероятностным выводом в них. В статье рассмотрены матрично-векторные уравнения первой и второй задач апостериорного вывода для всех трех типов фрагментов знаний, а именно над идеалами конъюнктов, дизъюнктов и множеством пропозиций-квантов. Описанные уравнения используют последние наработки в данной области, такие как нормирующие множители (вектор-селектор и вектор-редистрибутор). Также теоретический материал подкреплён описанием программного комплекса, который реализует описанные алгоритмы решения задач апостериорного вывода.

## Список литературы

[Золотин и др., 2015] Золотин А.А., Тулупьев А.Л., Сироткин А.В. Матрично-векторные алгоритмы локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях над пропозициями-квантами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. № 15(4). 676-684 с.

- [Тулупьев, 2007] Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: локальный логико-вероятностный вывод // Учеб. пособие. — СПб.: СПбГУ; ООО Издательство «Анатолия». 2007. 80 с.
- [Тулупьев и др., 2015] Тулупьев А.Л., Сироткин А.В., Золотин А.А. Матричные уравнения нормирующих множителей в локальном апостериорном выводе оценок истинности в алгебраических байесовских сетях Матричные уравнения нормирующих множителей в локальном апостериорном выводе оценок истинности в алгебраических байесовских сетях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1. Математика. Механика. Астрономия. 2015. №2(3). 379-386 с.
- [Тулупьев и др., 2009] Тулупьев А.Л., Сироткин А.В., Николенко С.И. Байесовские сети доверия // СПб: Издательство СПбГУ. 2009. 400 с.
- [Cai, 2017 cai2017analysis] Cai Z.Q., Guo P., Si S.B., Geng Z.M., Chen C., Cong L.L. Analysis of prognostic factors for survival after surgery for gallbladder cancer based on a Bayesian network. // Scientific Reports. 2017. № 7(1).
- [Desforges, 2017 desforges2017prognostic] Desforges Xavier, Mickaël Diévert, Bernard Archimède. A prognostic function for complex systems to support production and maintenance co-operative planning based on an extension of object oriented Bayesian networks. // Computers in Industry. 2017. № 86. pp. 34-51.
- [Dragicevic, 2017 dragicevic2017bayesian] Dragicevic S., Celar S., Turic M. Bayesian network model for task effort estimation in agile software development. // Journal of Systems and Software. 2017. № 127. pp.109-119.
- [Gharahbagheri, 2017 gharahbagheri2017root] Gharahbagheri H., Imtiaz S.A., Khan F. Root cause diagnosis of process fault using KPCA and Bayesian network. // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2017. № 56(8). pp. 2054-2070.
- [Kourou, 2017 kourou2017integration] Kourou K., Papaloukas C., Fotiadis D.I. Integration of Pathway Knowledge and Dynamic Bayesian Networks for the Prediction of Oral Cancer Recurrence. // IEEE journal of biomedical and health informatics. 2017. № 21(2). pp. 320-327.
- [Tulupyev and oth., 2015] Tulupyev A.L., Sirotkin A.V., Zolotin A.A. Matrix equations in a posteriori inference of truth estimates in algebraic Bayesian networks // Vestnik St. Petersburg University. Mathematics. 2015. № 48(3). pp. 168-174.
- [Xing, 2017 xing2017real] Xing F., Chen J., Zhao B., Jiang J., Tang A., Chen Y. Real role of  $\beta$ -blockers in regression of left ventricular mass in hypertension patients: Bayesian network meta-analysis. // Medicine. 2017. № 96(10).
- [Zolotin, 2016] Zolotin, A.A., Malchevskaia, E.A. Matrix-vector algorithms of local posteriori inference in algebraic Bayesian networks on ideal of disjuncts // Soft Computing and Measurements (SCM), 2016 XIX IEEE International Conference. 2016. pp. 31-34.

# LOCAL PROPAGATION ALGORITHMS IN ALGEBRAIC BAYESIAN NETWORKS: FINAL RENDERING TO MATRIX-VECTOR EQUATIONS

Malchevskaya E.A. (*katerina.malch@gmail.com*)

Zolotin A.A. (*andrey.zolotin@gmail.com*)

Tulupyev A.L. (*Alexander.tulupyev@gmail.com*)

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of  
the RAS, St. Petersburg  
St. Petersburg State University, St. Petersburg

The matrix-vector equations for local a posterior inference in algebraic Bayesian networks are considered. Basic terms, formulations and concepts related to the local probabilistic-logic inference are introduced. In addition, equations for solving first and second tasks of posterior inference for knowledge patterns over the ideals of conjuncts and disjuncts, as well as over the set of quanta-propositions are presented. The described equations use normalizing factors, such as a vector-selector and a vector-redistributor. Theoretical presentation of local posterior inference machine is supplemented by a description of the software complex module that implements the necessary methods and structures based on described equations and algorithms. The paper is supplemented by listings of the main operations of probabilistic-logic inference— consistency check and maintenance as well as prior and posterior inferences.

**Keywords:** probabilistic graphical model, machine learning, posterior inference, evidence propagation, algebraic Bayesian network, matrix-vector equations, software implementation.

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА**

Яшин Д.В. (*dv.yashin@yandex.ru*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В работе рассматривается возможность применения методов машинного обучения для настройки параметров комбинированной модели прогнозирования временного ряда. Предложена нейронная сеть, позволяющая на основании значений метрик временного ряда решить вопрос о включении тех или иных методов прогнозирования из базового набора в комбинированную модель.

**Ключевые слова:** прогнозирование временного ряда, комбинированная модель прогнозирования, машинное обучение, нейронная сеть.

## **1 Введение**

Существует множество методов прогнозирования временного ряда. Однако не создан лучший в любой ситуации метод: каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому одним из наиболее перспективных научных направлений стало создание комбинированных моделей прогнозирования. Значительное влияние на точность получаемого прогноза при их использовании оказывает выбор методов прогнозирования из базового набора, включаемых в состав комбинированной модели. В работе предлагается решение данной задачи, основанное на использовании методов машинного обучения.

## **2 Комбинированная модель прогнозирования временного ряда. Задача выбора моделей из базового набора**

Комбинированная модель прогнозирования – модель прогнозирования, состоящая из нескольких индивидуальных (частных) моделей,

называемых базовым набором моделей. Использование комбинированной модели может повысить точность получаемого прогноза по ряду причин:

- не существует единственного наиболее точного для любого временного ряда метода прогнозирования;
- сильные стороны одного метода могут компенсировать слабые стороны другого в комбинированной модели;
- попытка выбрать одну модель для временного ряда с изменяющимся уровнем и динамическими свойствами приводит к выбору усредненной модели;
- любой отвергнутый из-за неоптимальности прогноз почти всегда содержит полезную независимую информацию.

Точность агрегированного прогноза напрямую зависит от выбранных из базового набора моделей. Одним из возможных способов решения задачи отбора является разделение временного ряда на обучающую и контрольную части с последующим прогнозированием по обучающей части контрольных значений каждым методом из базового набора, после чего становится возможным выбор модели на основании полученных значений ошибки прогнозирования.

Описанный выше способ выбора моделей, хоть и позволяет получать довольно точные агрегированные прогнозы, сложно применить на практике. Например, если базовая модель включает несколько десятков методов прогнозирования, каждый из которых требует длительной настройки своих параметров, то прогнозирование временного ряда каждым методом из набора для последующего отбора будет требовать значительных вычислительных ресурсов.

Одним из возможных способов решения задачи выбора моделей из базового набора является экспертная оценка на основе анализа характеристик и графика временного ряда человеком-экспертом. Предлагаемый в данной работе способ наиболее приближен к этому подходу: модели из базового набора выбираются нейронной сетью, использующей множество легко вычисляемых метрик временного ряда.

### **3 Нейронная сеть выбора методов из базового набора комбинированной модели прогнозирования временного ряда**

При выборе методов прогнозирования из базового набора обучающая выборка нейронной сети содержит набор временных рядов, представленных в виде совокупности метрик, и соответствующих значений ошибки прогнозирования для каждой модели. Нейронная сеть, таким образом, обучается на основании значений метрик вычислять предполагаемые значения ошибки для каждой модели из базового набора, что позволяет определять: какие модели из базового набора эффективнее

применить для прогнозирования значений текущего временного ряда. Если агрегирующий метод предполагает настройку весов моделей из базового набора, веса могут быть установлены пропорционально полученным предполагаемым значениям ошибки каждой модели.

Используемые метрики должны соответствовать важным характеристикам временного ряда, таким как: длина, степень выраженности тренда, степень выраженности сезонности, величина дисперсии, наличие стационарности.

При выборе используемых метрик временного ряда необходимо выполнение следующих условий:

- метрика соответствует одной из основных характеристик временного ряда;
- совокупность метрик максимально и разносторонне описывает временной ряд;
- значение метрики принадлежит интервалу от 0 до 1.

В большинстве случаев метрики вычисляются на основании значений критериев. Например, степень выраженности тренда может быть оценена по таким критериям, как: критерием Валлиса-Мура, кумулятивный Т-критерий, критерий Фостера-Стьюарта, критерий Кокса-Стьюарта и другим. Стоит отметить, что не следует включать в обучающую выборку нейронной сети коррелирующие признаки. Однако не всегда наблюдается корреляция между значениями метрик, вычисленных для одной характеристики по разным критериям, так как различные критерии зачастую основываются на разных закономерностях временного ряда. Так, например, критерий Фостера-Стьюарта основан на сравнении соседних уровней временного ряда, а критерий Кокса-Стьюарта – на разбиении временного ряда на три части с последующим сравнением уровней между третьей и первой группой.

Обучающая выборка нейронной сети должна включать множество примеров, в том хотя бы один успешный пример для каждого метода прогнозирования из базового набора, а также содержать временные ряды только из той же предметной области, что и ряды, с которыми система будет работать в дальнейшем.

Таким образом, для создания комбинированной модели прогнозирования на основании использования нейронной сети необходимо решение ряда задач:

- определение состава моделей, входящих в базовый набор, при этом, чем большее разнообразие моделей будет обеспечено, тем точнее будут получаемые прогнозы;
- выявление ключевых для решения задачи прогнозирования метрик временного ряда (значения метрик должны быть легко вычисляемы);

- определение структуры и способа обучения нейронной сети выбора методов прогнозирования из базового набора.

## 4 Заключение

Задача настройки комбинированной модели прогнозирования временного ряда, исходя из значений его характеристик, может быть решена с помощью машинного обучения, а именно построения нейронной сети, выбирающей методы из базового набора, на основании значений метрик временного ряда.

Стоит отметить, что точность получаемых данной моделью прогнозов в первую очередь зависит от качества обучающей выборки, включающей достаточное количество успешных примеров для каждого метода прогнозирования из базового набора, а также большое число метрик временного ряда, соответствующим различным его характеристикам.

Предлагаемый метод, основанный на использовании легко вычисляемых метрик, позволяет построить эффективную комбинированную модель прогнозирования временного ряда, однако задача подготовки обучающей выборки нейронной сети представляет большую сложность.

## Список литературы

- [Аверкин А.Н. и др., 2015] Аверкин А.Н., Ярушев С.А., Повидало И.С. Гибридные нейронные сети в задачах прогнозирования временных рядов// Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015, Аннотации докладов: в 3-х томах. отв. ред. О.Н. Голотюк. 2015г.
- [Афанасьева, 2013] Т.В. Афанасьева. Моделирование нечетких тенденций временных рядов / Т.В. Афанасьева. - Ульяновск: УлГТУ, 2013г.
- [Колесников, 2001] А.В. Колесников. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки / А.В. Колесников — СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001г.
- [Колесников, 2007] А.В. Колесников. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков — М: ИПИ РАН, 2007.
- [Перфильева И.Г. и др., 2014] Перфильева И.Г., Ярушкина Н.Г., Романов А.А. Моделирование нестационарных временных рядов// Гибридные и синергетические интеллектуальные системы, Материалы II международного Поспеловского симпозиума. 2014г.
- [Пригожин, 1999] И. Пригожин. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы / И. Пригожин. — Ижевск: ИРТ, 1999г.
- [Рутковская, 2013] Д. Рутковская. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск.— М: Горючая линия - Телеком, 2013г.



- [Ярушкина и др., 2010] Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2010г.
- [Ярушкина, 2014] Н.Г. Ярушкина. Основы нечетких и гибридных сетей. / Н.Г. Ярушкина. – М.: Финансы и статистика, 2014г.

## USE OF MACHINE LEARNING METHODS FOR SETTING PARAMETERS OF THE COMBINED TIME SERIES FORECASTING MODEL

Yashin D.V. (*dy.yashin@yandex.ru*)  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The paper considers the possibility of applying machine learning methods to adjust the parameters of a combined time series forecasting model. A neural network is proposed that allows, based on the values of the time series metrics, to solve the problem of including certain forecasting methods from the basic set to the combined model.

**Keywords:** time series forecasting, combined forecasting model, machine learning, neural network.

## ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ И АНАЛИЗУ СОЦИАЛЬНОГО ГРАФА СОТРУДНИКОВ НЕКОТОРОЙ КОМПАНИИ<sup>1</sup>

Сулейманов А.А.<sup>1</sup> (*lex.suleimanov@gmail.com*)

Абрамов М.В.<sup>1,2</sup> (*mval6@list.ru*)

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и  
автоматизации РАН, Санкт-Петербург

В статье представлен подход к построению и анализу социального графа сотрудников, дана критическая оценка разработанных ранее методов. Также при построении социального графа сотрудников стоит учитывать возможных инсайдеров. Полученные результаты будут использованы для анализа защищённости пользователей информационной системы компании от социоинженерных атак.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, социоинженерные атаки, защита пользователя, социальный граф пользователей.

### 1 Введение

В современных реалиях безопасность предприятий обеспечивается специальными департаментами, отвечающими за установку специализированного программного обеспечения, составление свода правил безопасности, наблюдение за их исполнением, организацию ознакомительных семинаров, а также проведение мониторинга состояния безопасности информационной системы компании. Однако одним из немаловажных факторов, который часто недооценивается сотрудниками служб безопасности различных компаний, является оценка уязвимостей сотрудников к социоинженерным атакам [Аношин, 2017; Kaspersky Lab, 2017]. В настоящее время отсутствуют стандартизованные методики оценки защищённости персонала информационной системы от

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-31-00373 Методы идентификации параметров социальных процессов по неполной информации на основе вероятностных графических моделей).

социоинженерных атак. Исследования инцидентов, которые состоялись благодаря использованию методов социальной инженерии, позволяют сделать вывод о том, что для защиты от подобных атак необходимо предпринять комплекс мер. Первый слой таких мер включает в себя анализ защищённости пользователей, подходы к которому наиболее полно изложены в [Азаров и др., 2016]. Успех развития социоинженерной атаки зачастую зависит от характера взаимоотношений между сотрудниками в компании. Чтобы определить в каких отношениях состоят сотрудники компании предлагается использовать их аккаунты в социальных сетях. Подход к идентификации профилей сотрудников компании в социальных сетях представлен в [Shindarev et al, 2017]. Для решения задачи определения характера взаимоотношений сотрудников компании предлагается построить социальный граф, в котором на рёбрах обозначить веса, характеризующие вероятность успеха прохождения социоинженерной атаки по данной связи. В данной работе представлен подход к решению этой задачи.

## **2 Подход к построению и анализу социального графа сотрудников компании**

### **2.1 Постановка задачи**

Для построения социального графа взаимодействия предполагается основываться на открытой информации, полученной из профилей в основных в социальных сетях: ВКонтакте (<https://vk.com/>), Facebook (<https://www.facebook.com/>), LinkedIn (<https://ru.linkedin.com/>). Обоснование данного подхода связано в том числе с тем, что к этой информации может получить доступ и злоумышленник, следовательно, и учитывать её при планировании атаки. Также отметим, что информация, публикуемая пользователем в социальной сети, как правило, больше соответствует действительности, чем получаемая в рамках опросов или интервью [Суворова и др., 2012].

Опытный злоумышленник-социоинженер, основываясь на информации, полученной из социальных сетей, может сделать выводы, которые будут способствовать успеху проводимой им атаки. Так, например, доверчивый сотрудник уязвим к убеждению и обману, сильно любопытный сотрудник может попасться на уловки, использующие его интерес для создания рычагов давления. Эту информацию злоумышленник может извлечь из аккаунта в социальной сети и использовать в своих целях [Тулупьева и др., 2012]. При этом становится понятен круг общения потенциальной жертвы. Можно предположить, что, чем теснее общаются между собой коллеги, тем вероятнее успех прохождения социоинженерной атаки на одного

посредством другого. Положение усугубляется, если среди сотрудников компании есть инсайдер.

## **2.2 Построение социального графа сотрудников компании**

Предлагается построить социальный граф, где множество вершин определяется множеством сотрудников компании, ребра же определяются вероятностью прохождения социоинженерной атаки через эту связь, которая связана с характером взаимоотношений сотрудников. Ребра в таком графе двунаправленны. Таким образом строится полный граф взаимодействий всех сотрудников компании. Данный подход является довольно проблематичным в реализации задач аналитического моделирования. Хранение и обработка такого графа требует больших затрат памяти и лишней работы процессора (overhead). Одним из возможных решений может быть сокращение количества дуг, путем исключения маловероятных путей организации социоинженерных атак. Таким образом можно добиться разбиения графа на компоненты сильной связности, которые намного проще для обработки в рамках моделирующих процессов.

## **2.3 Анализ социального графа сотрудников компании**

Алгоритмы анализа обычно высчитывают вероятности успешности осуществления атаки на пользователя путем произведения коэффициентов на ребрах графа и вероятностей успешной атаки на пользователя по каждой конкретной цепочке. Очевидно, что в таком случае вероятность прямой атаки на пользователя (если она возможна) выше чем аналогичных опосредованных (т.е. таких, при которых внедрение в информационную систему компании злоумышленником происходит с использованием более чем одного сотрудника компании). Это не всегда отображает действительность, т.к. степень доверия пользователя коллеге, в особенности тому, с кем атакуемый находится в близких отношениях, довольно высока, а, следовательно, при таком исходе, а также заинтересованности взломанного сотрудника в успешном проведении атаки, вероятность удачного завершения взлома системы должна возрастать. Для выхода из положения предлагается пересмотреть логику указания коэффициентов на ребрах графа, перейдя от вероятности успешного перехода по этой связи в случае социоинженерного воздействия злоумышленника к значениям, отражающим взаимоотношения между сотрудниками. Таким образом модель, отраженная в графе, будет достовернее отображать действительность, что увеличит вероятности успешного предотвращения угроз со стороны злоумышленника.

При рассмотрении отдельных компонент связности, сотрудники департамента безопасности могут определять наиболее уязвимые места в инфраструктуре компании, для обеспечения сохранности ключевых документов. Такие компоненты предположительно будут представлять собой

коллег внутри одной отдельной группы сотрудников. Также довольно удобно составлять граф ответственности сотрудников по группам документов, таким образом при совмещении этих графов мы можем выделить наиболее важные и одновременно уязвимые точки, требующие более детального рассмотрения и обеспечения дополнительных мер.

### 3 Заключение

Данная работа является постановочной, в конце части исследования, посвящённой построению социального графа сотрудников и его последующего анализа, планируется научиться моделировать социоинженерные атаки и рассчитывать оценки вероятности их успеха. В статье представлен подход к построению и анализу социального графа сотрудников, дана критическая оценка разработанных ранее методов. Также при построении социального графа сотрудников стоит учитывать возможных инсайдеров. Полученные результаты будут использованы для анализа защищённости пользователей информационной системы компании от социоинженерных атак.

### Список литературы

- [Kaspersky Lab, 2017] The Human Factor in IT Security: How Employees are Making Businesses Vulnerable from Within [Электронный ресурс]// Kaspersky Lab. — 2017. — URL: <https://www.kaspersky.com/blog/the-human-factor-in-it-security/> (дата обращения: 06.10.2017)
- [Shindarev et al, 2017] Shindarev N., Bagretsov G., Abramov M., Tulupyeva T., Suvorova A. Approach to identifying of employees profiles in websites of social networks aimed to analyze social engineering vulnerabilities //Advances in Intelligent Systems and Computing. Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’17). Vol. 1. 2017. P.441–447.
- [Азаров и др., 2016 ] Азаров А.А., Тулупьева Т.В., Суворова А.В., Тулупьев А.Л., Абрамов М.В., Юсупов Р.М. Социоинженерные атаки. Проблемы анализа. СПб.: Наука, 2016. 352 с.
- [Аношин, 2017] Аношин И. Карточные слабости. Как не стать жертвой высокотехнологичных мошенников // РБК. Газета №164 (2661) (2909) URL: <http://www.rbc.ru/newspaper/2017/09/29/59ca447b9a79474aa6f65673>
- [Суворова и др., 2012] Суворова А.В., Тулупьева Т.В., Тулупьев А.Л., Сироткин А.В., Пашенко А.Е. Вероятностные графические модели социально-значимого поведения индивида, учитывающие неполноту информации //Труды СПИИРАН. – 2012. – Т. 3. – №. 22. – С. 101-112.
- [Тулупьева и др., 2012] Тулупьева Т. В. и др. Социально-психологические факторы, влияющие на степень уязвимости пользователей автоматизированных информационных систем с точки зрения социоинженерных атак //Труды СПИИРАН. – 2010. – Т. 1. – №. 12. – С. 200-214.

# APPROACH TO CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF THE SOCIAL GRAPH OF EMPLOYEES OF A SOME COMPANY

Suleimanov A.A.<sup>1</sup> (*lex.suleimanov@gmail.com*)

Abramov M.V.<sup>1,2</sup> (*mva16@list.ru*)

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg

<sup>2</sup>The Federal State Institution of Science St.Petersburg  
Institute for Informatics and Automation of the Russian  
Academy of Sciences, St. Petersburg

The article presents an approach to the construction and analysis of the social graph of employees, and a critical evaluation of previously developed methods is given. Also, when building a social graph of employees, it is worth considering the possible insiders. The results will be used to analyze the security of users of the company's information system from social engineering attacks.

**Keywords:** information security, social engineering attacks, user protection, social user graph.

## ПОДХОД К ВОССТАНОВЛЕНИЮ МЕТА-ПРОФИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ<sup>1</sup>

Слёзкин Н.Е.<sup>1</sup> (*ne.slezkin@gmail.com*)

Абрамов М.В.<sup>1,2</sup> (*mval6@list.ru*)

Тулупьева Т.В.<sup>1,2,3</sup> (*tvt100a@mail.ru*)

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и  
автоматизации Российской академии наук, Санкт-  
Петербург

<sup>3</sup>Северо-Западный институт управления — филиал  
РАНХиГС, Санкт-Петербург

В данной работе представлен подход к решению задачи восстановления мета-профиля пользователя информационной системы на основе данных из социальных сетей. Полученные результаты позволят гарантировать большую точность при построении профиля психологических особенностей пользователя и дальнейшего составления на его основе профиля уязвимостей пользователя. Что в конечном итоге будет способствовать уточнению оценки вероятности успеха социинженерной атаки злоумышленника на пользователя за счёт агрегирования сведений о большем количестве факторов, влияющих на успех воздействия.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, социинженерные атаки, защита пользователя, профиль уязвимостей пользователя, мета-профиль пользователя.

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-31-00373 Методы идентификации параметров социальных процессов по неполной информации на основе вероятностных графических моделей).

## 1 Введение

Сегодня общение между людьми перешло на новый качественный уровень. Современный человек находится в непрерывной коммуникации лично, по телефону, через социальные сети, мессенджеры и т.п. Ежемесячно в Интернет в России выходят 65,9 млн человек, из которых социальные сети посещают более 90%. По данным Brand Analytics, каждый день в социальных сетях появляется порядка 30 млн. новых сообщений (350 постов в секунду), и 35 млн. человек оставляют хотя бы одно публичное сообщение в месяц [Mail.Ru, 2017]. В России наиболее популярными социальными сетями являются ВКонтакте (<https://vk.com/>), Одноклассники (<https://ok.ru/>), Instagram (<https://www.instagram.com/>), Twitter (<https://twitter.com/>), Facebook (<https://www.facebook.com/>) и Мой Мир (<https://my.mail.ru/>). Каждая из представленных социальных сетей ориентирована на свой сегмент пользователей. Характер взаимодействия пользователя с различными приложениями, контент, который он публикует, позволяет сделать вывод о его психологических особенностях [Тулупьева и др., 2012].

Как правило, человек имеет аккаунты в нескольких социальных сетях. Статистика показывает, что в России 7% аудитории сайта Одноклассники и 14% пользователей ВКонтакте не используют другие социальные сети. При этом отметим, что 87% пользователей социальной сети Мой Мир имеет аккаунты в социальной сети ВКонтакте, а 80% также в Одноклассниках [Mail.Ru, 2017]. Существуют и другие зависимости между аудиториями социальных сетей. Большинство аккаунтов в социальных сетях содержат личную информацию пользователя, это могут быть его ФИО, место и год рождения, образование, работа и т.д. Решение указывать эту информацию или нет (а также указывать достоверную информацию) по большей части находится в руках у пользователя. Поэтому, как правило, не все пользователи предоставляют о себе полные и достоверные данные.

Важным аспектом в контексте исследований в области социоинженерных атак является также то, что отсутствие аккаунта в какой-то из распространённых социальных сетей может быть уязвимостью само по себе, поскольку может быть создан клон аккаунта в другой социальной сети [Kontaxis et al, 2011]. В результате этого злоумышленник со страницы-клона сможет провести социоинженерную атаку на коллег объекта клонирования.

Таким образом актуальной является задача восстановления мета-профиля пользователя информационной системы на основе данных из социальных сетей [Kaspersky Lab, 2017; Азаров и др., 2016; Абрамов и др., 2016]. В данной работе представлен подход к решению этой задачи. Полученные результаты позволят гарантировать большую точность при построении профиля психологических особенностей пользователя и дальнейшего составления на его основе профиля уязвимостей



пользователя. Что в конечном итоге будет способствовать уточнению оценки вероятности успеха социоинженерной атаки злоумышленника на пользователя за счёт агрегирования сведений о большем количестве факторов, влияющих на успех воздействия.

## **2 Подход к восстановлению мета-профиля пользователя информационной системы**

### **2.1 Постановка задачи**

Задача идентификации аккаунтов пользователей социальных сетей не нова, но в текущей формулировке рассматривается впервые. Существующие подходы к её решению демонстрировали разные результаты эффективности [Igani, 2009; Malhotra, 2012; Бартунов, Коршунов, 2012]. Среди них особенно выделим методику, предложенную в работе [Бартунов, Коршунов, 2012]. В данной работе представлен подход к решению задачи поиска и сопоставления аккаунтов одного и того же человека в разных социальных сетях, приведена формализация, представлены методика и алгоритмы для сопоставления профилей одного и того же человека в Facebook и Twitter. Наш подход является расширением данного на большее количество социальных сетей. Планируется учитывать не только анкетные данные пользователей (ФИО, место и год рождения, образование, работа, интересы, политические и религиозные взгляды и т.п.), характер их связей, но и фотоматериалы с хештегами, геолокационной информацией, отметками других пользователей; взаимная активность пользователей в виде лайков, репостов и прочих факторов.

### **2.2 Поиск и сопоставление профилей**

Предлагается следующая методика для выявления страниц одного и того же пользователя в разных социальных сетях в целях восстановления его мета-профиля.

1. Поиск аккаунтов пользователей в социальной сети Вконтакте, о которых заведомо известно, что они являются сотрудниками компании [Shindarev et al, 2017].
2. Расширение списка сотрудников на основании результатов кластеризации социального графа пользователей и выделения компонент связности.
3. Поиск аккаунтов в социальных сетях Facebook и Instagram, потенциально ассоциированных с найденными аккаунтами пользователей в социальной сети ВКонтакте.
4. В каждой тройке аккаунтов будут анализироваться анкетные данные (ФИО, место и год рождения, образование, работа, интересы, политические и религиозные взгляды и т.п.), характер

- их социальных связей, фотоматериалы с хештегами, геолокационной информацией, отметками других пользователей; взаимная активность пользователей в виде лайков, репостов и прочих факторов.
5. На основе проведённого анализа будут отсеяны тройки или элементы троек, которые были выбраны ошибочно, остальные будут включены в базу данных.
  6. На основе информации из аккаунтов каждой тройки будет построен мета-профиль пользователя, содержащий более полную информацию о сотруднике компании, которая послужит базой для построения психологического профиля пользователя.
  7. Результаты реализации данного алгоритма позволят более точно строить профиль уязвимостей пользователей информационной системы компании и будут способствовать уточнению оценок вероятности успеха социоинженерной атаки.

### 3 Заключение

Данная работа является постановочной, в конце части исследования, посвящённой поиску и сопоставлению аккаунтов пользователей в разных социальных сетях планируется научиться восстанавливать полный мета-профиль пользователя информационной системы. В данной работе представлен подход к решению этой задачи. Полученные результаты позволят гарантировать большую точность при построении профиля психологических особенностей пользователя и дальнейшего составления на его основе профиля уязвимостей пользователя. Что в конечном итоге будет способствовать уточнению оценки вероятности успеха социоинженерной атаки злоумышленника на пользователя за счёт агрегирования сведений о большем количестве факторов, влияющих на успех воздействия.

### Список литературы

- [**Irani, 2009**] Irani D., Webb S., Kang L., Calton P. Large online social footprints--an emerging threat //Computational Science and Engineering, 2009. CSE'09. International Conference on. – IEEE, 2009. – Т. 3. – С. 271-276.
- [**Kaspersky Lab, 2017**] The Human Factor in IT Security: How Employees are Making Businesses Vulnerable from Within [Электронный ресурс]// Kaspersky Lab. — 2017. — URL: <https://www.kaspersky.com/blog/the-human-factor-in-it-security/> (дата обращения: 06.10.2017)
- [**Kontaxis et al, 2011**] Kontaxis G., Polakis I., Ioannidis S., Markatos E.P. Detecting social network profile cloning //Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2011 IEEE International Conference on. – IEEE, 2011. – С. 295-300.

- [**Mail.Ru, 2017**] Социальные сети в России: исследование Mail.Ru Group: <https://corp.imgs.mail.ru/media/files/issledovanie-auditorij-sotsialnykh-setej.pdf>
- [**Malhotra, 2012**] Malhotra A., Totti L., Meira Jr W., Kumaraguru P., Almeida V. Studying user footprints in different online social networks //Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2012 IEEE/ACM International Conference on. – IEEE, 2012. – С. 1065-1070.
- [**Shindarev et al, 2017**] Shindarev N., Bagretsov G., Abramov M., Tulupyeva T., Suvorova A. Approach to identifying of employees profiles in websites of social networks aimed to analyze social engineering vulnerabilities //Advances in Intelligent Systems and Computing. Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ИТИ’17). Vol. 1. 2017. P.441–447.
- [**Абрамов и др., 2016**] Абрамов М.В., Азаров А.А., Тулупьева Т.В., Тулупьев А.Л. Модель профиля компетенций злоумышленника в задаче анализа защищённости персонала информационных систем от социинженерных атак //Информационно-управляющие системы. 2016. №4. С. 77–84
- [**Азаров и др., 2016**] Азаров А.А., Тулупьева Т.В., Суворова А.В., Тулупьев А.Л., Абрамов М.В., Юсупов Р.М. Социинженерные атаки. Проблемы анализа. СПб.: Наука, 2016. 352 с.
- [**Бартунов, Коршунов, 2012**] Бартунов С., Коршунов А. Идентификация пользователей социальных сетей в Интернет на основе социальных связей //Труды конференции по Анализу Изображений Сетей и Текстов (АИСТ). – 2012.
- [**Тулупьева и др., 2012**] Тулупьева Т.В., Тулупьев, А.Л., Пашенко А.Е., Азаров А.А., Степашкин М.В. Социально-психологические факторы, влияющие на степень уязвимости пользователей автоматизированных информационных систем с точки зрения социинженерных атак //Труды СПИИРАН. – 2010. – Т. 1. – №. 12. – С. 200-214.

# APPROACH TO RECONCILIATION OF INFORMATION SYSTEM USER'S META-PROFILE BASED ON DATA FROM SOCIAL NETWORKS WEBSITES

Slezkin N.E.<sup>1</sup> (*ne.slezkin@gmail.com*)

Abramov M.V.<sup>1,2</sup> (*mva16@list.ru*)

Tulupyeva T.V.<sup>1,2,3</sup> (*tvt100a@mail.ru*)

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg

<sup>2</sup>The Federal State Institution of Science St.Petersburg  
Institute for Informatics and Automation of the Russian  
Academy of Sciences, St. Petersburg

<sup>3</sup>North-West Institute of Management - a branch of the  
RANHiGS, St. Petersburg

In this paper, we present an approach to solving the problem of restoring the meta-profile of the user of the information system based on data from social networks. The results obtained will ensure greater accuracy in constructing a profile of the user's psychological characteristics and further compiling a profile of the user's vulnerabilities based on it. That in the end will help to refine the assessment of the probability of success of a cybercriminal attack on a user by aggregating information about a greater number of factors influencing the success of an impact.

**Keywords:** information security, social engineering attacks, user protection, user vulnerability profile, user meta-profile.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абрамов М.В., 394, 399  
Аверкин А.Н., 305  
Алексеев Ф.Ф., 125  
Ананьев В.В., 97  
Астахова И.И., 133  
Афанасьева Т.В., 334  
Баязитов Г.А., 353  
Богатилов В.Н., 67  
Бручес Е.П., 232  
Бурдо Г.Б., 77  
Вагин В.Н., 133  
Виноградов Г.П., 250  
Гаврилюк Е.А., 41  
Герасимова Д.С., 26  
Гольчевский Ю.В., 56  
Гусынин О.С., 205  
Гуськов Г.Ю., 295  
Данякин И.Д., 222  
Джамбеков А.М., 21  
Дударин П.В., 367  
Ермоленко А.В., 213  
Жуйков И.В., 115  
Заварзин Д.В., 187  
Захарова А.А., 287  
Здаранок Ю.А., 40  
Золотин А.А., 178, 376  
Исаев А.А., 77  
Исхаков А.Р., 353  
Кафтанников И.Л., 366  
Клюшин А.Ю., 259  
Коновалов В.А., 97  
Крайванова В.А., 232  
Мальчевская Е.А., 376  
Манцеров С.А., 41  
Маторин С.И., 13  
Мирзаева Г.Р., 139  
Михелёв В.В., 13  
Мошкин В.С., 295  
Мутовкина Н.Ю., 259, 267  
Найханов Н.В., 329  
Найханова Л.В., 329  
Нехаев И.Н., 115  
Никитин Н.А., 105  
Николаев П.Л., 315  
Орлова Ю.А., 105  
Парасич А.В., 366  
Парасич В.А., 366  
Парасич И.В., 366  
Петрова С.Ю., 97  
Полетаев В.С., 277  
Похилько А.Ф., 90  
Пророков А.Е., 67  
Пучков А.Ю., 320  
Рафиков А.Р., 353  
Розалиев В.Л., 105, 205  
Романов А.А., 84  
Рыбина Г.В., 222  
Салиев Э.А., 139  
Санаева Г.Н., 67  
Санаева Н.А., 67  
Саяпин А.В., 26  
Семенов Н.А., 267  
Сибирев И.В., 149  
Слэзкин Н.Е., 399  
Сорокин А.Ю., 77  
Степанов И.С., 240  
Стоянова О.В., 77  
Суворова А.В., 170  
Сулейманов А.А., 394  
Тимина И.А., 159  
Ткаченко К.С., 51  
Тулупьев А.Л., 170, 178, 376  
Тулупьева Т.В., 399  
Федотова А.В., 305  
Филимонова Н.А., 56  
Филиппов А.А., 295  
Фомина М.В., 133  
Фронина М.М., 342  
Хабаров В.И., 240  
Хамдамов Р.Х., 139  
Харитонов Н.А., 178  
Цыганков Д.Э., 90  
Шакиров В.А., 194  
Эгов Е.Н., 159  
Ярушев С.А., 305  
Ярушкина Н.Г., 295, 367  
Яшин Д.В., 389

## AUTHORS INDEX

- Abramov M.V., 398, 404  
 Afanasieva T.V., 341  
 Alekseev F.F., 132  
 Ananev V.V., 103  
 Astachova I.I., 138  
 Averkin A.N., 313  
 Bayazitov G.A., 360  
 Bogatikov V.N., 76  
 Bruches E.P., 239  
 Burdo G.B., 83  
 Danyakin I.D., 230  
 Dudarin P.V., 375  
 Dzhambekov A.M., 25  
 Egov E.N., 168  
 Ermolenko A.V., 220  
 Fedotova A.V., 313  
 Filimonova N.A., 66  
 Filippov A.A., 304  
 Fomina M.V., 138  
 Fronina M.M., 352  
 Gavril'yuk E.A., 50  
 Gerasimova D.S., 31  
 Golchevskiy Yu.V., 66  
 Guskov G.Yu., 304  
 Gusynin O.S., 212  
 Isaev A.A., 83  
 Iskhakov A.R., 360  
 Kaftannikov I.L., 361  
 Khabarov V.I., 249  
 Khamdamov R.Kh., 148  
 Kharitonov N.A., 186  
 Klyushin A.Yu., 266  
 Konovalov V.A., 103  
 Krayvanova V.A., 239  
 Malchevskaya E.A., 388  
 Mantserov S.A., 50  
 Matorin S.I., 20  
 Mikhelev V.V., 20  
 Mirzaeva G.R., 148  
 Moshkin V.S., 304  
 Mutovkina N.Yu., 266, 276  
 Naykhanov L.V., 333  
 Naykhanov N.V., 333  
 Nekhaev I.N., 124  
 Nikitin N.A., 114  
 Nikolaev P.L., 319  
 Orlova Yu.A., 114  
 Parasich A.V., 361  
 Parasich I.V., 361  
 Parasich V.A., 361  
 Petrova S.Y., 103  
 Pokhilko A.F., 96  
 Poletaev V.S., 286  
 Prorokov A.E., 76  
 Puchkov A.Y., 328  
 Rafikov A.R., 360  
 Romanov A.A., 89  
 Rozaliev V.L., 114, 212  
 Rybina G.V., 230  
 Saiapin A.V., 31  
 Saliev E.A., 148  
 Sanaeva G.N., 76  
 Sanaeva N.A., 76  
 Semenov N.A., 276  
 Shakirov V.A., 204  
 Sibirev I.V., 158  
 Slezkin N.E., 404  
 Sorokin A.Yu., 83  
 Stepanov I.S., 249  
 Stoyanova O.V., 83  
 Suleimanov A.A., 398  
 Suvorova A.V., 177  
 Timina I.A., 168  
 Tkachenko K.S., 55  
 Tsygankov D.E., 96  
 Tulupyev A.L., 177, 186, 388  
 Tulupyeva T.V., 404  
 Vagin V.N., 138  
 Vinogradov G.P., 258  
 Yarushev S.A., 313  
 Yarushkina N.G., 304, 375  
 Yashin D.V., 393  
 Zakharova A.A., 294  
 Zavarzin D.V., 193  
 Zdaranok Y.A., 32  
 Zhuykov I.V., 124  
 Zolotin A.A., 186, 388

Научное издание  
НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ И МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ.  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

**Fuzzy Technologies in the Industry  
(FTI–2017)**

Первая Всероссийская научно-практическая конференция  
(Россия, г. Ульяновск 14-15 ноября, 2017)

Сборник научных трудов

ЛР № 020640 от 22.10.97.

Подписано в печать 09.11.2017. Формат 60х84/16.

Усл. печ. л. 23,72. Тираж 100 экз. Заказ 939.

Ульяновский государственный технический университет

432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

ИПК «Венец» УлГТУ. 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

