

# 16

Российская ассоциация  
искусственного интеллекта

Федеральный  
исследовательский  
центр «Информатика  
и управление» РАН

Институт проблем  
управления  
им. В.А. Трапезникова  
РАН

Национальный  
исследовательский  
университет  
«Высшая школа  
экономики»

The Institute  
of Information  
and Communication  
Technologies  
at the Bulgarian  
Academy of Sciences

НАЦИОНАЛЬНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ИСКУССТВЕННОМУ  
ИНТЕЛЛЕКТУ

**КИИ-2018**

ТРУДЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
**ТОМ 1**

Москва  
2018

**Организаторы конференции:**

Российская ассоциация искусственного интеллекта

ФГБУ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН

ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»

The Institute of Information and Communication Technologies

at the Bulgarian Academy of Sciences

Конференция проводится при финансовой поддержке

Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-07-20067)

**Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному**

**интеллекту с международным участием КИИ-2018** (24–27 сентября 2018 г.,

г. Москва, Россия). Труды конференции. В 2-х томах. Т 1. – М.: РКП, 2018. – 308 с.

В первом томе трудов публикуются доклады участников конференции,

представленные на следующих секциях:

Секция 1. «Инженерия знаний и онтологии»,

Секция 2. «Интеллектуальные динамические и робототехнические системы»,

Секция 3. «Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и управления»,

Секция 4. «Интеллектуальный анализ данных»,

Секция 5. «Интеллектуальный анализ текстов и семантический Web»

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Перед Вами труды 16-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием.

Организаторами конференции являются ФИЦ ИУ РАН совместно с ИПУ РАН, Высшей школой экономики и Общероссийской общественной организацией Российской ассоциацией искусственного интеллекта. Конференция имеет 30-летнюю историю – первая такая конференция прошла в 1988 году в Переславле-Залесском и с тех пор проходит регулярно один раз в два года.

Начиная с 2006 года организатором этой конференции являлся ИСА РАН.

Тематика конференции включает такие актуальные научные проблемы как интеллектуальный анализ данных, логические теории пространства-времени, моделирование рассуждений, моделирование поведения, интеллектуальные системы управления роботами и их коалиций, машинное обучение и другие.

На конференцию принято 127 докладов из 232, полученных организаторами, главным образом, сотрудников академических институтов и высших учебных заведений, а также некоторых отраслевых институтов из Москвы, Санкт Петербурга, Калининграда, Апатитов, Твери, Смоленска, Нижнего Новгорода, Белгорода, Таганрога, Ростова-на-Дону, Воронежа, Самары, Саратова, Казани, Ульяновска, Калуги, Уфы, Екатеринбургa, Томска, Красноярска, Новосибирска, Иркутска, Хабаровска, Владивостока.

На конференцию, кроме того, были поданы доклады участников из Беларуси, Украины, Азербайджана, Армении, Вьетнама, Таиланда, Эквадора.

Всего предполагается более 200 участников.

В Национальный и Международный программный комитеты конференции входят известные российские и зарубежные специалисты в области искусственного интеллекта.

На конференции будут прочитаны пленарные доклады видных специалистов в области искусственного интеллекта.

Все присланные доклады прошли рецензирование либо членами программных комитетов конференции, либо приглашёнными специалистами в области искусственного интеллекта (не менее двух), которым организаторы конференции выражают свою благодарность. Окончательное решение о приёме докладов было принято на специальном заседании Национального программного комитета конференции. Мы надеемся, что проведение этой конференции даст новый стимул развитию исследований в области искусственного интеллекта.

Организаторы конференции выражают особую благодарность В.В. Борисову и К.П. Коршуновой за активное участие в формировании и подготовке настоящих трудов к печати.

*О.П. Кузнецов,  
Г.С. Осипов*

## **Со-председатели конференции**

Соколов И.А., академик РАН, ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Васильев С.Н., академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва  
Осипов Г.С., д.ф.-м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва

## **Национальный программный комитет КИИ-2018**

Кузнецов О.П., д.т.н., проф., ИПУ РАН, г. Москва (председатель)  
Аверкин А.Н., к.ф.-м.н., доцент, ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Вагин В.Н., д.т.н., проф., НИУ МЭИ, г. Москва  
Гаврилова Т.А., д.т.н., проф., СПбГУ, г. Санкт-Петербург  
Голенков В.В., д.т.н., проф., БГУИР, г. Минск  
Еремеев А.П., д.т.н., проф., НИУ МЭИ, г. Москва  
Карпов В.Э., к.т.н., доцент, НИЦ Курчатковский институт, г. Москва  
Кобринский Б.А., д.м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Кузнецов С.О., д.ф.-м.н., проф., НИУ ВШЭ, г. Москва  
Михеенкова М.А., д.т.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Палюх Б.В., д.т.н., проф., ТвГТУ, г. Тверь  
Панов А.И., к.ф.-м.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Петровский А.Б., д.т.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Поспелов Д.А., д.т.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Ройзензон Г.В., к.т.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Рыбина Г.В., д.т.н., проф., НИЯУ МИФИ, г. Москва  
Стефанюк В.Л., д.т.н., проф., ИППИ РАН, г. Москва  
Тарасов В.Б., к.т.н., доцент, МГТУ, г. Москва  
Сулейманов Д.Ш., академик АН РТ, ИПС АН РТ, г. Казань  
Тельнов Ю.Ф., д.э.н., проф., МЭСИ, г. Москва  
Федунов Б.Е., д.т.н., проф., РосНИИ АС, г. Москва  
Финн В.К., д.т.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Фоминых И.Б., д.т.н., проф., НИУ МЭИ, г. Москва  
Хорошевский В.Ф., д.т.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Яковлев К.С., к.ф.-м.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва

## **Международный программный комитет КИИ-2018**

Vadim Stefanuk, Institute for Information Transmission Problems, Russia (chair)  
Alexey Averkin, FRC «Computer Science and Control» RAS, Russia  
Franz Baader, Dresden University of Technology, Germany  
Ildar Batyrshin, Instituto Politecnico Nacional, Mexico  
Gerhard Brewka, University of Leipzig, Germany  
Yves Demazeau, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, France  
Tatyana Gavrilova, St. Petersburg University, Russia  
Vladimir Golenkov, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Belarus  
Georg Gottlob, University of Oxford, England  
Valeriya Gribova, Institute for Automation and Control Processes, Russia  
Vladimir Khoroshevsky, FRC «Computer Science and Control» RAS, Russia  
Alexander Kolesnikov, Kaliningrad branch of FRC CSC RAS, Russia  
Sergey Kovalev, Rostov State Railway University, Russia  
Alla Kravets, Volgograd State University, Russia  
Sergei Kuznetsov, National Research University Higher School of Economics, Russia  
Vladimir Pavlovsky, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russia  
Leonid Perlovsky, Harvard University, USA  
Alexey Petrovsky, FRC «Computer Science and Control» RAS, Russia  
Yuri Popkov, FRC «Computer Science and Control» RAS, Russia  
Vasil Sgurev, Inst. of Information and Communication Technologies, Bulgaria  
Shahnaz Shahbazova, Azerbaijan Technical University, Azerbaijan

## **Оргкомитет КИИ-2018:**

Кузнецов С.О., д.ф.-м.н., проф., НИУ ВШЭ, г. Москва (председатель)  
Антропова Л.И., НИУ ВШЭ  
Панов А.И., к.ф.-м.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Суворова М.И., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва  
Чурашова С.С., НИУ ВШЭ, г. Москва  
Яковлев К.С., к.ф.-м.н., ФИЦ ИУ РАН, г. Москва

---

СЕКЦИЯ 1 | ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ И  
ОНТОЛОГИИ

УДК 004.89

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИЙ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТОКА  
СТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

А.М. Андреев (*arkandreev@gmail.com*)

Д.В. Березкин (*berezkind@bmstu.ru*)

И.А. Козлов (*kozlovilya89@gmail.com*)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

В статье рассмотрено применение гибридного подхода к автоматизированному анализу и прогнозированию развития ситуаций для обработки потока структурированных данных. Подход основан на выявлении в потоке данных событий и ситуаций и формировании возможных сценариев развития ситуаций. Рассмотрен способ представления событий и выделения ситуаций при работе со структурированными данными, описан метод формирования сценариев.

**Ключевые слова:** ситуационный анализ, прогнозирование, система поддержки принятия решений, сценарный анализ, аналогия, кластеризация

### **Введение**

Современные информационные системы решают широкий круг задач, связанных с анализом разнородных данных. В частности, большое количество аналитических задач связано с обработкой структурированной инфор-

мации, содержащейся во внутренних базах данных компаний. В них накапливаются данные о клиентах, продуктах, оказанных услугах и проведенных финансовых операциях, а также информация о ситуации на рынке и деятельности конкурентов.

Структурированная информация в базах может быть динамической, то есть каждая запись может описывать некоторое событие, произошедшее в определенный момент времени, например, слияние компаний или выпуск конкурентами нового продукта. Взаимосвязанная последовательность событий отражает развитие некоторой ситуации с течением времени, и отслеживание этого развития может быть использовано для поддержки принятия решений в реальном времени. Для принятия наилучших решений необходимо также прогнозировать дальнейшее развитие ситуации. В частности, это требуется организациям при отслеживании перспективных технологических направлений: своевременное обнаружение зарождающегося тренда и оперативное направление средств на развитие соответствующих технологий позволяет компании не отставать от конкурентов в разработке инновационных продуктов.

Для оперативного принятия решений записи о событиях должны анализироваться в реальном времени по мере их появления в базе, поэтому анализируемые данные можно рассматривать как поток структурированной информации. В работе [Андреев и др., 2018] авторами был предложен гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе автоматической обработки потоков разнородных данных. В данной статье рассматривается применение этого подхода к обработке структурированной информации о компаниях и ситуации на рынке, содержащейся в корпоративных базах данных, с целью формирования прогноза развития перспективных технологических направлений.

## **1. Подход к прогнозированию развития ситуаций**

Существуют различные подходы к анализу ситуаций и управлению ими, предложенные в работах отечественных и зарубежных ученых, таких как Д.А. Поспелов, Ю.И. Клыкков, А.П. Еремеев, В.Н. Вагин, В.В. Кульба. Однако многие из этих решений ориентированы на обработку определенного типа данных и используют статическое представление ситуаций, что затрудняет их применение для ситуационного анализа потоков разнородных (в частности, структурированных) данных.

Для устранения этих недостатков авторами был предложен гибридный подход [Андреев и др., 2018], состоящий из пяти этапов.

Этап 1. Периодический сбор разнородных (числовых, табличных, текстовых) данных из источников и их первичная обработка.

Этап 2. Выделение из потока данных событий  $\varepsilon_i$ .

Этап 3. Объединение взаимосвязанных событий в цепочки, отражающие развитие различных процессов с течением времени. Каждая такая цепочка называется ситуацией  $s = (\varepsilon_s^1, \varepsilon_s^2, \dots, \varepsilon_s^n)$ .

Этап 4. Прогнозирование дальнейшего развития ситуации посредством построения возможных сценариев её развития. Каждый сценарий  $\xi = (\varepsilon_\xi^1, \varepsilon_\xi^2, \dots, \varepsilon_\xi^m)$  представляет собой цепочку событий, которые могут наступить в будущем, то есть, потенциальное продолжение текущей ситуации. Из множества сценариев выделяются три, наиболее интересных для лица, принимающего решения (ЛПР): оптимистический, пессимистический и наиболее вероятный.

Этап 5. Формирование для каждого сценария  $\xi$  предложений  $res_\xi$  по действиям, которые необходимо предпринять для содействия или противодействия развитию ситуации  $s$  по этому сценарию.

Этапы подхода отражены на рис. 1. Подход предполагает, что при работе с данными различного типа используются разнообразные модели событий, а также методы их обнаружения и объединения в цепочки. Однако, поскольку развитие ситуации вне зависимости от предметной области рассматривается как последовательность событий, формирование сценариев и генерация предложений выполняются единообразно.

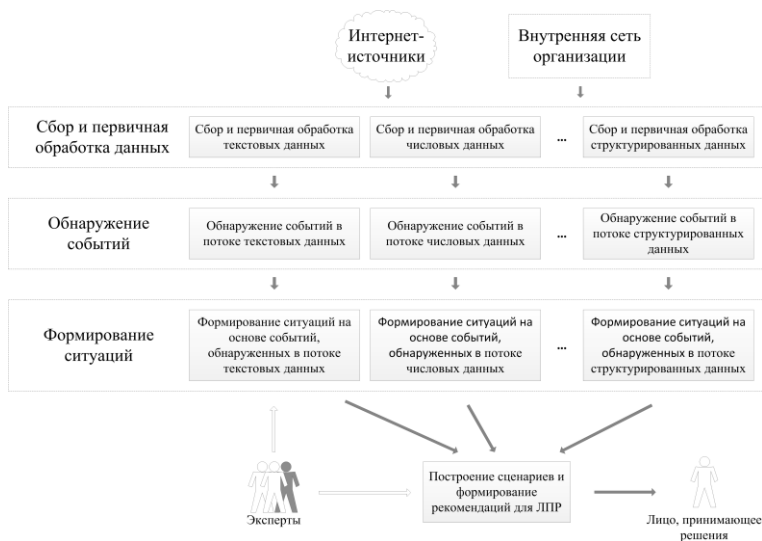


Рис. 1. Этапы гибридного подхода к прогнозированию развития ситуаций



В данной статье рассматривается применение подхода для анализа структурированной информации, содержащейся в корпоративной базе данных. В связи с этим удобным способом представления события является фрейм, слоты которого описывают различные свойства события:  $\varepsilon_i = ((a_i^1, v_i^1), (a_i^2, v_i^2), \dots, (a_i^f, v_i^f))$ , где  $a_i^k$  и  $v_i^k$  – имя и значение  $k$ -го слота  $i$ -го события,  $f$  – количество слотов. При использовании фреймового представления «извлечение события» заключается в заполнении слотов фрейма на основе полей некоторой записи базы данных. В табл. 1 представлен пример фреймового представления события поглощения компании Trustev, разрабатывающей решения для онлайн верификации личности пользователей, компанией TransUnion. В слотах содержатся данные различных типов – числовые значения, даты, именованные сущности, текст.

Табл. 1.

Компания-покупатель	TransUnion
Поглощаемая компания	Trustev
Дата сделки	09.12.2015
Сумма сделки	44 млн. долларов
Описание	Trustev Limited, поставщик технологии цифровой онлайн верификации, которая выполняет анализ данных пользователей для снижения рисков и потенциальных потерь, был приобретен TransUnion

Анализ цепочек событий, представленных схожим образом (в виде записей с набором полей), лежит в основе направления анализа процессов (Process Mining) [Aalst et al., 2007]. Но для применения методов Process Mining необходимо наличие явной привязки событий к процессам, то есть, анализируемые цепочки событий должны быть сформированы уже при заполнении базы данных. На практике же события в базе зачастую не связаны друг с другом явным образом, и формирование цепочек представляет собой отдельную аналитическую задачу. В частности, при выполнении прогнозирования развития технологических направлений необходимо в первую очередь выделить цепочки событий, соответствующие отдельным направлениям.

## 2. Формирование ситуаций на основе анализа потока структурированных данных

Выделение ситуаций на основе множества событий можно рассматривать как задачу кластеризации: необходимо разделить все события на

группы  $C = \{c_i\}$ , каждая из которых соответствует некоторой ситуации. Затем из событий группы  $c_i$  может быть сформирована цепочка  $s_i$  путем упорядочивания их по времени наступления.

Существуют разнообразные алгоритмы, разделяющие множество объектов на кластеры: графовые (алгоритмы выделения связных компонент и минимального остовного дерева), иерархические, статистические (EM-алгоритм и  $k$ -средних), плотностные (DBSCAN) [Воронцов, 2007; Добров и др., 2010]. Некоторые методы позволяют осуществлять мягкую кластеризацию, то есть, относить каждый объект более чем к одному кластеру, например, метод нечетких  $s$ -средних [Штовба, 2001] и графовый метод MaxMax [Hore et al., 2013].

Все вышеописанные методы выполняют статическую кластеризацию: для формирования кластеров требуется анализ всего набора событий, и при его изменении (в частности, при добавлении нового события) необходимо обрабатывать набор заново. При обработке потока структурированных данных новые события поступают постоянно, поэтому для выделения ситуаций удобнее применять динамическую кластеризацию, которая позволяет обрабатывать каждую новую запись по мере её появления в базе. Алгоритм динамической кластеризации состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Для нового события  $\varepsilon_i$  определяется близость  $sim(\varepsilon_i, c_j)$  к каждому из ранее сформированных ситуационных кластеров  $c_j$ .

Шаг 2. Выбирается наиболее близкий к событию кластер:  $c_o = \arg \max_{c_j} sim(\varepsilon_i, c_j)$ .

Шаг 3. Если близость между событием  $\varepsilon_i$  и ситуационным кластером  $c_o$  превосходит пороговое значение – событие добавляется в этот кластер.

Шаг 4. Если близость меньше порогового значения – создается новый кластер, и событие  $\varepsilon_i$  становится его первым элементом.

В исходном виде алгоритм динамической кластеризации выполняет непересекающееся разбиение объектов. Для того чтобы обеспечить возможность включения события в несколько ситуаций, выполняется построение ситуационного графа  $G = (E, P)$ , где узлы  $E = \{\varepsilon_i\}$  соответствуют событиям, а ребра  $P = \{(\varepsilon_i, \varepsilon_j)\}$  – парам событий, близость между которыми  $sim(\varepsilon_i, \varepsilon_j)$  превышает пороговое значение. Любая цепочка событий в этом графе является потенциальной ситуацией  $s = (\varepsilon_s^1, \varepsilon_s^2, \dots, \varepsilon_s^n)$ .

### 3. Формирование сценариев развития ситуаций

После построения цепочек событий, отражающих развитие ситуаций с течением времени, необходимо определить возможные сценарии дальнейшего развития этих ситуаций. В основе метода формирования сценариев

лежит принцип исторической аналогии. Он предполагает, что экспертами подготовлена база эталонных ситуаций  $S_e$ , описывающих развитие некоторых процессов в прошлом.

При построении ситуационного графа в нём обнаруживается каждое событие  $\varepsilon_c$ , которое аналогично некоторому событию  $\varepsilon_e$  какой-либо эталонной ситуации  $s_e \in S_e$ . Аналогичность устанавливается с помощью метода опорных векторов на основе попарного сравнения слотов фреймовых представлений событий  $\varepsilon_c$  и  $\varepsilon_e$ .

Далее в графе выделяется цепочка  $s_c$ , содержащая событие  $\varepsilon_c$  и имеющая максимальную близость к  $s_e$ . С целью снижения вычислительной сложности для выделения этой цепочки используется метод ветвей и границ. Сформированная цепочка  $s_c$  рассматривается как текущая ситуация и сравнивается с начальной частью  $st(s_e, s_c)$  эталонной ситуации  $s_e$ .  $st(s_e, s_c)$  – часть цепочки  $s_e$  от её начала до последнего события, имеющего аналог в  $s_c$ . В результате сравнения требуется определить, является ли эталонная ситуация аналогом текущей. В таком случае заключительная часть  $fin(s_e, s_c)$  эталонной цепочки (состоящая из всех событий цепочки  $s_e$ , не вошедших в  $st(s_e, s_c)$ ) считается возможным сценарием дальнейшего развития текущей ситуации.

Для сравнения ситуаций используется метод, представляющий собой модификацию расстояния Левенштейна: расстояние между цепочками определяется нормированным суммарным весом операций, необходимых для преобразования  $st(s_e, s_c)$  в  $s_c$ :

$$\rho(s_e, s_c) = \frac{\theta^T W}{len(st(s_e, s_c))} = \frac{(\theta_{del} W_{del} + \theta_{add} W_{add} + \theta_{rep} W_{rep} + \theta_{irep} W_{irep})}{len(st(s_e, s_c))},$$

где  $len(st(s_e, s_c))$  – длина начальной части эталонной цепочки, а  $W = (W_{del}, W_{add}, W_{rep}, W_{irep})$  – вектор, содержащий суммарные веса различных типов операций преобразования цепочек (удаления события из эталонной ситуации ( $W_{del}$ ); добавления события в текущую ситуацию ( $W_{add}$ ); замены события на его аналог ( $W_{rep}$ ); изменения временного интервала между событиями ( $W_{irep}$ ));  $\theta = (\theta_{del}, \theta_{add}, \theta_{rep}, \theta_{irep})$  – коэффициенты, определяющие вклад операций различных типов в значение расстояния.

На основании  $\rho(s_e, s_c)$  требуется определять, является ли текущая ситуация  $s_c$  аналогом эталона  $s_e$ . Установление аналогичности рассматривается как задача логистической регрессии. Для этого вводится переменная  $y$ , равная 1, если цепочки не являются аналогами, и 0 в противном случае. Делается предположение, что вероятность наступления события  $y = 0$  (т.е., вероятность того, что текущая ситуация является аналогом эталонной) задана логистической функцией от расстояния между цепочками:

$$P(y = 0 | s_e, s_c) = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\rho(s_e, s_c)}}.$$

Значения коэффициентов  $\theta$  подбираются методом максимального правдоподобия на основе обучающей выборки, состоящей из множества пар аналогичных и неаналогичных ситуаций. Эталонные цепочки, для которых  $P(y=0 | s_e, s_c) > 0,5$ , считаются аналогами ситуации  $s_c$ , а их заключительные части рассматриваются как возможные сценарии её дальнейшего развития. Заключительная часть цепочки, для которой вероятность аналогичности текущей ситуации максимальна ( $s_e^{prob} = \arg \max_{s_e} [P(y = 0 | s_e, s_c)]$ ), является наиболее вероятным сценарием. Также из множества сценариев выделяются оптимистический и пессимистический. Для их определения рассчитывается приоритетность всех сценариев с помощью метода анализа иерархий (МАИ) [Saaty, 1980].

С целью формирования предложений для ЛПР при подготовке базы  $S_e$  каждое событие эталонных ситуаций снабжается рекомендациями, указывающими, какое лицо, какие действия и в какие сроки должно выполнить при наступлении аналогичного события в будущем.

#### 4. Реализация предложенного подхода

На основе приведенного подхода авторами разработана система автоматического прогнозирования развития перспективных технологических направлений. На этапе обучения экспертами была подготовлена эталонная база, содержащая около 200 ситуаций, описывающих развитие различных технологий в прошлом, также были настроены параметры МАИ и логистической регрессии. После обучения система автоматически анализировала поток структурированных данных, формировала ситуации, определяла множество возможных сценариев их дальнейшего развития, выделяла наиболее вероятный, оптимистический и пессимистический сценарии и готовила предложения для ЛПР.

В частности, система выявила ситуацию, характеризующую развитие технологии онлайн верификации личности пользователей и сформировала для неё сценарии и предложения. Фрагмент обнаруженной ситуации представлен в табл. 2, а наиболее вероятный сценарий её дальнейшего развития и предложения для ЛПР приведены в табл. 3.

Табл. 2.

Дата	Описание события
11.03.2014	Trulioo получает 6 млн. долларов инвестиций
26.06.2014	BlockScore получает начальное финансирование в объеме \$2 млн.
31.07.2014	Confident Technologies получает \$5.59 млн. инвестиций
09.12.2015	TransUnion приобретает компанию Trustev

Табл. 3.

<b>Сценарий развития текущей ситуации</b>	Дальнейшее развитие технологии и получение новых патентов
<b>Эталонная ситуация, аналогичная текущей</b>	Развитие технологии управления VoIP-соединением на основе репутации
<b>Событие эталонной ситуации, на основе которого получен сценарий</b>	Компания Intel получает патент, ссылающийся на патент поглощенной ей компании McAfee
<b>Ожидаемый срок реализации сценария</b>	1115 дней
<b>Рекомендация для ЛПР</b>	В течение полугода направить средства на развитие технологии

## 5. Направления дальнейших исследований

Предложенный подход позволяет единообразно формировать сценарии развития ситуаций при работе с потоками данных различного типа. Было рассмотрено применение подхода к анализу потоков структурированных записей БД и текстовых сообщений [Андреев и др., 2018], при этом потоки текстовых и структурированных данных анализировались отдельно. Дальнейшим направлением исследований является выполнение совместного анализа разнородных потоков данных, для чего требуется обеспечить возможность определения аналогичности событий, извлеченных из потоков данных разного типа. В частности, одно событие может быть описано фреймом, а другое представлено текстом. Для определения аналогичности может выполняться сравнение слотов фрейма с информацией, извлеченной из текста, а именно: числовыми значениями, датами, именованными сущностями, ключевыми словами.

В результате экспериментов по оценке качества предложенного подхода (а именно, качества выявления аналогичных ситуаций) было получено значение F-меры 0,8 при анализе текстовых документов [Андреев и др., 2018]. В рамках дальнейших исследований планируется получить оценки качества при анализе структурированных данных, а также при совместном анализе данных различных типов.

## Заключение

В статье рассмотрено применение гибридного подхода к анализу и прогнозированию развития ситуаций для обработки потока структурированных данных. Предложенный подход позволяет выполнять автоматический

анализ потока данных, участие эксперта требуется лишь на этапе настройки параметров и подготовки базы эталонных ситуаций. Использование методов машинного обучения, таких как логистическая регрессия, позволяет осуществлять гибкую настройку подхода в зависимости от анализируемой предметной области и особенностей обрабатываемых данных. Представление ситуаций цепочками событий обеспечивает учет динамики развития ситуаций при прогнозировании, а использование ситуационного графа позволяет обеспечить возможность включения каждого события более чем в одну ситуацию.

### Список литературы

- [**Андреев и др., 2018**] Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А. Гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе извлечения событий из потоков разнородных данных // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. Труды IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. – Калининград: БФУ им. И. Канта, 2018.
- [**Воронцов, 2007**] Воронцов К.В. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования. – [www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf](http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf).
- [**Добров и др., 2010**] Добров Б.В., Павлов А.М. Исследование качества базовых методов кластеризации новостного потока в суточном временном окне // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды XII Всероссийской научной конференции RCDL. Казань, 2010.
- [**Штовба, 2001**] Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. 2001. – <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1>.
- [**Hope et al., 2013**] Hope D., Keller B. Maxmax: a graph-based soft clustering algorithm applied to word sense induction // International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics. Samos, Greece. 2013.
- [**Aalst et al., 2007**] Aalst van der W.M., Reijers H.A., Weijters A.J., Dongen van B.F., De Medeiros A.A., Song M., Verbeek H.M.W. Business process mining: An industrial application // Information Systems. 2007. № 32(5).
- [**Saaty, 1980**] Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill. 1980.

УДК 004.82

## АВТОРСКИЙ ДИЗАЙН КУРСА «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»: ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД<sup>1</sup>

Т.А. Гаврилова (*gavrilova@gsom.pu.ru*)  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

В работе описывается онтологический подход к проектированию структуры курса по искусственному интеллекту. Обсуждаются структурные, содержательные и методические модификации данной дисциплины и визуальные модели курса.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, онтологии, преподавание курса

### Введение

Российская традиция чтения курса по системам искусственного интеллекта (ИИ) насчитывает уже почти 30 лет. В Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Владивостоке, Томске и других городах с момента образования Российской ассоциации искусственного интеллекта в 1988 году данный курс успешно читается ведущими специалистами в этой области для студентов технических, так и гуманитарных вузов. Опубликованы базовые учебники (как отечественные, так и переводные [Справочник, 1990; Вагин и др., 2008; Джарратано, Райли, 2006; Осипов, 2011; Редько, 2016; Финн, 2011]), по которым также можно читать курсы лекций.

Однако структура этих курсов существенно отличается. Достаточно сравнить выпущенные в России монографии и учебники по ИИ [Гаврилова, Хорошевский, 2000; Гаврилова, Кудрявцев, Муромцев, 2016; Норвиг, Рассел, 2015]. Отчасти это объясняется междисциплинарным базисом и широкой проблематикой искусственного интеллекта, отчасти быстрой сменой парадигм в этой довольно молодой науке, родившейся в 1956 году. Однако в большой степени это связано с различиями в научных школах и направлениях исследований. Доклад

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-00228).

посвящен описанию подхода, в некоторой степени, смягчающего субъективизм и несбалансированность некоторых курсов.

## 1. Онтологический подход

Существует множество подходов к определению понятия «онтология». Одно из известных определений онтологии дал Том Грубер: «Онтология – это спецификация концептуализации» [Gruber, 1993]. Никола Гуарино определяет онтологию следующим образом: «Онтология – это формальная теория, ограничивающая возможные концептуализации мира» [Guarino, Giaretta, 1995]. В обеих формулировках используется понятие «концептуализация», требующее, в свою очередь, определения. Поэтому можно привести и более развернутое: «Онтология – это спецификация предметной области или формальное ее представление, которое включает словарь указателей на термины предметной области и логические выражения, которые описывают, что эти термины означают, как соотносятся друг с другом и как они могут или не могут быть связаны между собой» [Гаврилова, Хорошевский, 2000].

В общем виде структура легкой (light-weighted) онтологии представляет каркас или структурированный словарь основных разделов предметной области. Самым распространенным типом отношений, используемым во всех онтологиях, является отношение категоризации, то есть отнесение к определенной категории.

Если подойти к структуре курса как к онтологии предметной области, то явно выделяются два подхода (см. рис. 1 и 2):

- чтение курса обзорно («широкая» онтология ИИ);
- чтение курса в глубину («глубокая» онтология ИИ).

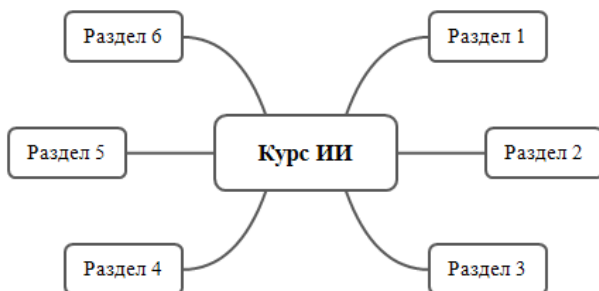


Рис. 1. «Широкая» онтология



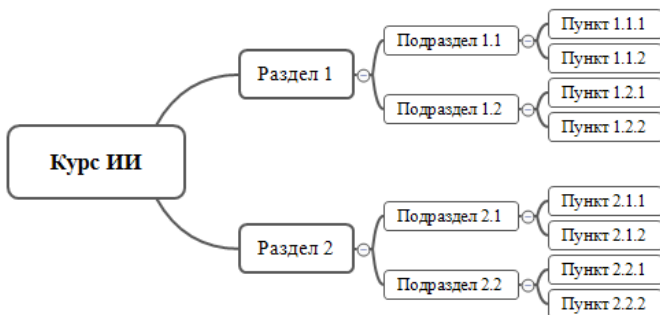


Рис. 2. «Глубокая» онтология

Представляется целесообразным для студентов читать максимально широкие курсы, так как такой подход позволяет сформировать разностороннюю палитру навыков и компетенций у студента, отчетливо не представляющего свою дальнейшую профессиональную деятельность. Однако у этого подхода есть целый ряд оппонентов, возражающих против «поверхностного», на их взгляд, описания дисциплины.

Автор придерживается визуального онтологического подхода в разработке учебных онтологий [Гаврилова и др., 2011], который последовательно применим для детальной проработки материала курса. Для этого подхода характерно визуально отображать структуру онтологии в виде интеллект-карт или концептуальных карт.

Так в курс вводятся два типа онтологий:

**А. Организационно-методические онтологии:**

**А1.** Методические модели – например, карты программ обучения, карты профилей и направлений обучения;

**А2.** Карты знаний об организации процесса обучения – например, карты подготовки к экзамену; карты критериев оценки; карты организации библиотечной работы; карты, отражающие структуру выпускной аттестационной работы.

**В. Учебно-дидактические онтологии:**

**В1.** Содержательные модели – например, карты основных понятий, идей, подходов, личностей, научных школ;

**В2.** Структурные модели – например, содержание отдельных сложных понятий, схемы организационных структур, архитектуры, платформы, логистические схемы.

## 2. Классическая часть курса

Автор доклада имеет более чем 20-летний опыт чтения таких курсов по ИИ (с 1992 года) и апробировал различные структуры дисциплины. В данном докладе предлагается обсудить подход, синтезирующий вышеизложенные. Так онтология курса разбивается на «классическую» часть и авторский модуль (рис. 3).



Рис. 3. Обобщенная структура курса

В классическую часть целесообразно включить разделы:

- История ИИ в России и за рубежом;
- Обзор основных направлений ИИ;
- Современные прорывные результаты и новые направления ИИ;
- Практические приложения ИИ: промышленность, здравоохранение, бизнес и др.

## 3. Авторская часть курса

Авторская часть связывается со сферой научной деятельности лектора-преподавателя и может включать отдельные направления в более детальном изложении и проработке. Особенно сильны различия в двух основных ветвях ИИ – нейронауке [Хайкин, 2006; Редько, 2016] и символическом ИИ [Тарасов 2002; Кудрявцев, 2010]. При этом возможные модификации онтологии курса связываются с аудиторией – для магистров и бакалавров курс читается по-разному, для математиков и гуманитариев онтология также видоизменяется на третьем и четвертом уровне детализации.

Автор доклада традиционно упор делает на инженерии знаний (см. рис. 4).

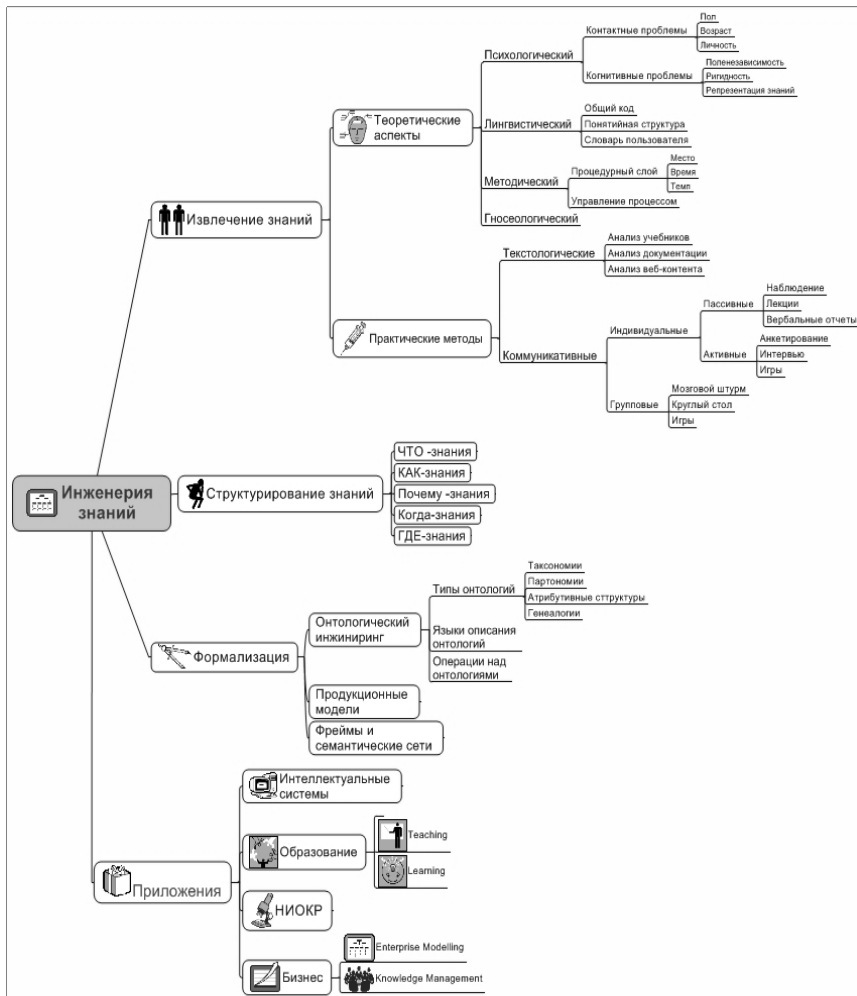


Рис. 4. Онтология инженерии знаний

## Заключение

Онтологический подход к построению курса позволяет создавать у студентов целостное и системное представление о структуре ИИ, вынуждая лектора подниматься к обобщению материала, не «зацикливаясь» на хорошо проработанных темах. Игнорирование подхода приводит к курсам, которые образно можно назвать «ковёр рассыпанных осенних листьев». В

то время как онтология позволяет рассмотреть стройное дерево науки. Онтологический подход, однако, требует широкого кругозора и навыков системно-аналитического мышления.

### 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. – М.: Физматлит, 2008.
- [Гаврилова и др., 2001] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб, Питер, 2001.
- [Гаврилова и др., 2011] Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Страхович Э.В. Об использовании визуальных концептуальных моделей в преподавании // Вестник СПбГУ, серия Менеджмент, 2011, № 4.
- [Гаврилова и др., 2016] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. – СПб: Лань, 2016.
- [Джарратано и др., 2006] Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – М.: Вильямс, 2006.
- [Кудрявцев, 2010] Кудрявцев Д.В. Системы управления знаниями и применение онтологий. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
- [Норвиг и др., 2015] Норвиг П., Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA-2). – М.: Вильямс, 2015.
- [Осипов, 2011] Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011.
- [Редько, 2016] Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: URSS, 2016.
- [Рутковский, 2010] Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010.
- [Системы, 2008] Системы искусственного интеллекта. Практический курс. – Бинном, 2008.
- [Справочник, 1990] Справочник по искусственному интеллекту / Под ред. Э.В. Попова, Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.
- [Тарасов, 2002] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
- [Финн, 2011] Финн В.К. Искусственный интеллект. Методология, применения, философия. – М.: КРАСАНД, 2011.
- [Хайкин, 2006] Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006.

УДК 004.514.6

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ГЕНЕРАЦИИ АДАПТИВНЫХ WIMP-ИНТЕРФЕЙСОВ РЕДАКТОРОВ БАЗ ЗНАНИЙ<sup>1</sup>

В.В. Грибова (*gribova@dvo.ru*),

Л.А. Федорищев (*fleo1987@mail.ru*)

Институт автоматки и процессов управления  
ДВО РАН, Владивосток

В работе представлен подход к генерации адаптивных WIMP-интерфейсов редакторов знаний по онтологии предметной области и базе знаний о правилах их проектирования. Рассмотрены онтологии WIMP-элементов, базы знаний о проектировании интерфейсов, модели интерфейса. Представлен краткий алгоритм генерации интерфейса базы знаний.

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, онтологии, базы знаний, адаптивность, WIMP-интерфейс, автоматическая генерация

### Введение

Редакторы баз знаний являются одним из классов программных систем, поэтому «дружественный» пользовательский интерфейс, соответствующий требованиям пользователей, особенностям представления информации в предметной области, среде использования является одним из ключевых факторов, по которым пользователи принимают решение об использовании того или иного редактора [Cerny, 2012]. Несмотря на то, что редактор баз знаний – это один из классов программных систем, существующие подходы в области автоматизации адаптивных интерфейсов для них не подходят. Редакторы баз знаний характеризуются следующими особенностями, отличающими их от интерфейсов программных систем других типов: большой размер баз знаний, часто состоящий из тысяч и даже десятков тысяч терминов, их характеристик и значений; большая связанность информационных ресурсов (данных и сложно-структурированных знаний) между собой; уни-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 17-07-00956, 16-07-00340) и «ДВ» №№ 18-5-078, 18-МНТ-009.

версальность – редакторы баз знаний относятся к универсальным, проблемно и задаче независимым программным продуктам, соответственно, в них должны быть заложены общие принципы формирования интерфейсов, в то время как для каждой программной системы специально разрабатывается пользовательский интерфейс, ориентированный на конкретную функциональность, в соответствии с ней выделяются задачи пользователей, строится ориентированный на функциональность сценарий диалога.

Современный подход к построению баз знаний основан на использовании онтологий [Щеглов, 2009; Гаврилова и др., 2016]. Редакторы баз знаний, основанные на данном подходе (Protege, IWE, OntoEdit, GrOWL, Graphl, RDFGravity, WebVOWL, Ontolingua, OntoSaurus, OilEd, WebOnto, WebODE, SmapTools, Semp, CLIPS и др.), имеют средства генерации интерфейсов для редактирования знаний по онтологии на основе фиксированной модели генерации интерфейсов. Понимая важность интерфейсной проблемы, в некоторых редакторах реализуется несколько моделей визуализации знаний, что позволяет просмотреть их в различных формах.

Вместе с тем, эксперты, формирующие базы знаний, имеют разный уровень владения компьютером, в предметных областях устоялись и используются свои стандарты к представлению информации, сценарию человеко-компьютерного взаимодействия, что требует гибких подходов к построению пользовательского интерфейса. В связи с вышесказанным, разработка моделей и методов генерации адаптивных WIMP (Windows, Icons, Menu, Pointing Device) – интерфейсов (наиболее востребованных пользователями именно для ввода и редактирования знаний), является актуальной задачей [Masik, 2016].

В данной работе предлагается подход к автоматической генерации адаптивных WIMP-интерфейсов редакторов баз знаний по онтологии предметной области и базе знаний о правилах их проектирования.

## **1. Подход к генерации адаптивных WIMP-интерфейсов**

Область знаний, связанная с разработкой интерфейсов, постоянно изменяется – появляются новые интерфейсные элементы и платформы, расширяются свойства существующих элементов, совершенствуются требования к их проектированию [Masik, 2014; Белоусова и др., 2014]. В связи с этим важно, чтобы предложенные методы были развиваемыми. В качестве реализации этого основного требования предлагается использовать онтологический подход для формирования знаний о проектировании интерфейсов.

Основная идея предложенного подхода заключается в том, что пользовательский интерфейс автоматически генерируется по модели знаний (онтологии), базе знаний о проектировании интерфейсов, а также модели интерфейса, в которой определены специфические для данного интерфейса

параметры генерации (она может отсутствовать, в этом случае используется система умолчаний).

Основными элементами предложенного подхода являются:

- *множество абстрактных интерфейсных элементов* (например, выбор элемента из множества, вывод элемента), задающих возможные действия пользователя либо команды интерфейса; абстрактные элементы не зависят от платформы и конкретных WIMP-элементов; каждому абстрактному элементу интерфейса ставится в соответствие конструкция языка для описания модели знаний (онтологии);
- *онтология WIMP-элементов*, в соответствии с которой формируется библиотека WIMP-элементов;
- *онтология базы знаний о проектировании интерфейса*, и, *база знаний, сформированная на ее основе*. Каждому элементу абстрактного интерфейса в базе знаний сопоставляется множество конкретных элементов интерфейса из библиотеки WIMP-элементов, определенных реализацией, и множество условий, которые задают правила применимости этих элементов. Условия определяются требованиями юзабилити (от англ. usability), характеристиками платформы и профиля пользователя;
- *онтология модели интерфейса*, описывающая структуру параметров для генерации адаптивного интерфейса конкретного редактора базы знаний. По онтологии формируется модель интерфейса. Параметры могут быть статическими (уровень владения компьютером, платформа, возраст) и динамическими, которые определяются в процессе взаимодействия пользователя с интерфейсом (число ошибок, время ввода/выбора элементов и др.). Помимо этого, в модели интерфейса возможно задать конкретные представления в интерфейсе для выбранных элементов онтологии базы знаний;
- *генератор интерфейса*, который по модели знаний (онтологии), базе знаний о проектировании интерфейса и модели интерфейса формирует пользовательский интерфейс редактора базы знаний.

Предложенный подход реализуется на облачной платформе IACPaaS, предназначенной для создания интеллектуальных систем [Gribova et al., 2017]. Базы знаний создаются на основе двухуровневого подхода: на языке ИРУО формируется метаинформация (онтология), задающая структуру базы знаний и ее терминологию, а также правила формирования и ограничения, а затем по ней формируется база знаний [Gribova, 2015]. Каждому элементу языка ИРУО поставлен в соответствие элемент абстрактного интерфейса. Принципиально важно, что при таком подходе в модель знаний (онтологию) не включается информация об интерфейсе, что соответствует современному требованию к разработке программных систем.

На рис. 1 представлена схема реализации предложенного подхода.

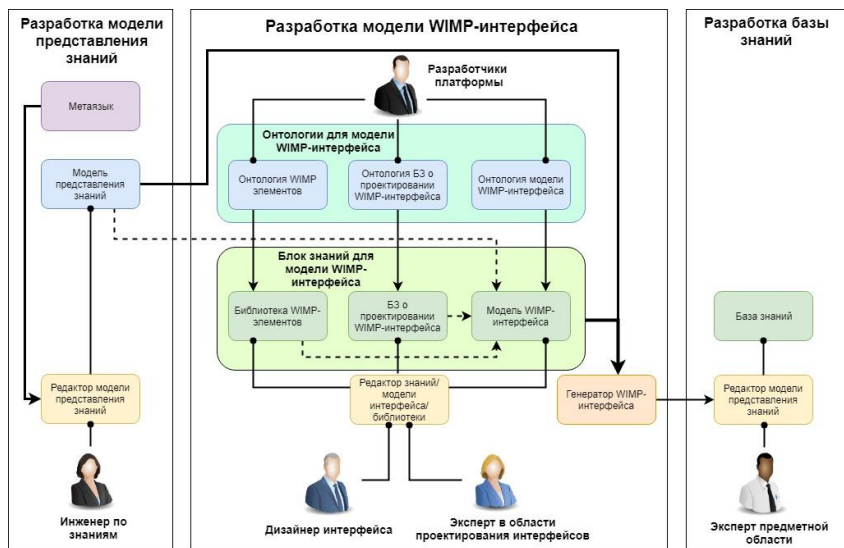


Рис. 1. Схема реализации подхода к автоматической генерации интерфейса

## 2. Онтология WIMP-элементов

Библиотека WIMP-элементов формируется на основе онтологии WIMP-элементов. Она включает описание структуры стилей и описание структуры WIMP-элементов.

```

Онтология WIMP элементов {
  ~сору CSS-стили {
    <...>
  }
  ~сору WIMP-элементы {
    <...>
  }
}
    
```

Группа *<~сору CSS-стили>* – это множество стилей, подобных традиционным стилям CSS, использующимся в веб-разработке. Стили определяют оформление внешнего вида интерфейсных элементов, начиная от простых, таких как шрифт, цвет, размер элементов, до составных, содержащих наборы интерфейсных.



Группа *<~copy WIMP-элементы>* – это группа стандартных элементов интерфейса, таких как кнопка, поле ввода, список и др.

```
~copy WIMP-элементы {  
  ~ set Text {<...>}  
  ~ set Button {<...>}  
  ...  
}
```

Каждый элемент интерфейса состоит из набора атрибутов и стилей CSS.

Например:

*<set Text>* – это множество текстовых WIMP-элементов с параметром *<text>* и стилями CSS:

```
~ set Text: {  
  ~set -> CSS  
  ~one text  
}
```

*<set Button >* – это множество кнопок. Каждая кнопка имеет надпись и состояния: *default, clicked, focused, disabled, mouseover, mousedown.*

```
~ set Button: {  
  ~set -> CSS  
  ~one text  
  ~copy default { ~set -> CSS }  
  <...>  
}
```

Данная онтология в настоящее время реализована на облачной платформе IACPaaS.

### 3. Онтология знаний о проектировании WIMP-интерфейса

База знаний о проектировании WIMP-интерфейса строится на основе онтологии, которая задает наборы соответствий между абстрактным интерфейсным элементом и его возможными представлениями в интерфейсе. Применимость элемента определяется набором условий (адаптаций).

```
~one Абстрактный интерфейсный элемент {  
  ~one -> WIMP-элемент  
  ~set <Адаптация>  
}
```

WIMP-элемент – это ссылка на WIMP-элемент (с конкретными параметрами) из онтологии WIMP.

*<Адаптация>* – это множество вариантов применимости интерфейсного элемента в зависимости от условий:

```
~set Адаптация {  
  ~copy <Селектор адаптации>
```

```
    ~сору <Реализация>
}
```

<Селектор *адаптации*> – это набор условий адаптации, при выполнении которых интерфейсный элемент получает параметры, указанные в блоке <Реализация>. Условия реализации определяются следующими факторами: устройство, среда, пользователь:

```
    ~сору Селектор адаптации {
        ~сору <Устройство>
        ~сору <Среда>
        ~сору <Пользователь>
    }
```

<Устройство> определяет его тип (например, ПК, планшет, смартфон), операционную систему (например, Android, Windows, IOS) и размеры.

<Среда> содержит параметры, характеризующие внешнее или внутреннее окружение элемента, которое может влиять на представление данного элемента, например, количество потомков.

<Пользователь> определяет параметры адаптации, зависящие от профиля пользователя, например, возраст, уровень владения компьютером.

#### 4. Модель WIMP-интерфейса

База знаний о проектировании WIMP-интерфейса позволяет генерировать адаптивные интерфейсы, зависящие от предметной области, пользователя и других параметров. В модели интерфейса задаются конкретные значения параметров, которые влияют на генерацию интерфейса. Некоторые параметры определяются автоматически, например, платформа и устройство, а возраст, уровень владения компьютером, влияющие на выбор конкретного элемента, их размер, шрифт задает пользователь (иначе выбираются значению «по умолчанию»). Некоторые параметры, которые влияют на представление, например, число ошибок, скорость работы, уточняются в процессе взаимодействия с пользователем и заносятся в модель интерфейса автоматически для контекстной адаптации интерфейса. Также пользователь может сам выбрать конкретное представление в интерфейсе для тех или иных элементов онтологии знаний, для которой генерируется интерфейс:

```
    ~set Элемент {
        ~one -> Язык ИРУО
        ~one -> WIMP-элемент
    }
```

## 5. Генерация интерфейса

Алгоритм генерации заключается в следующем:

- 1) получить на вход онтологию модели знаний, каждому элементу онтологии сопоставить конструкцию языка ИРУО;
- 2) по таблице соответствий найти абстрактный интерфейсный элемент, который соответствует этой конструкции языка;
- 3) по базе знаний выбрать множество адаптаций для абстрактного элемента;
- 4) среди множества адаптаций выбрать ту, которая соответствует модели интерфейса;
- 5) отобразить в интерфейсе выбранную адаптацию.

На рис. 2 приводится пример генерации WIMP-интерфейса редактора базы знаний по лечению заболеваний с использованием предложенной технологии.

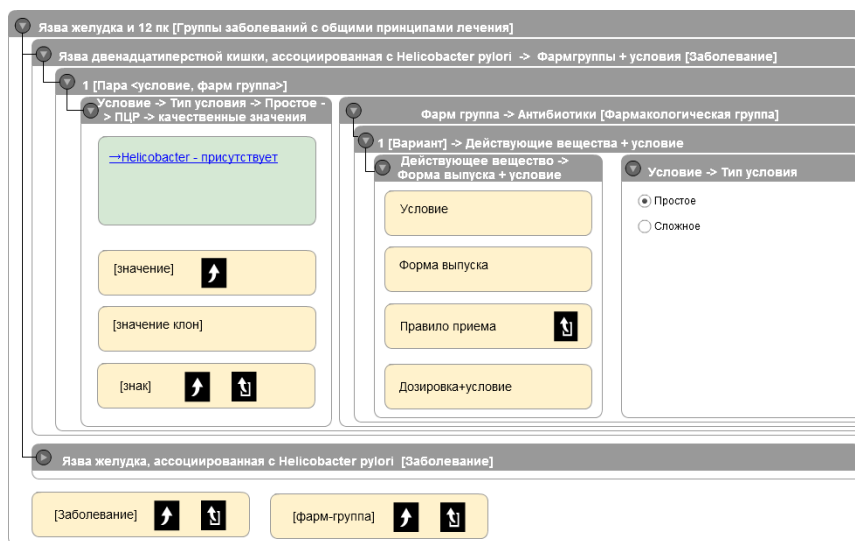


Рис. 2. Пример сгенерированного интерфейса для редактора знаний

## Заключение

В работе описан новый подход к генерации адаптивных WIMP-интерфейсов редакторов баз знаний. Генерация осуществляется по модели знаний (онтологии), модели интерфейса и базе знаний о проектировании интерфейса. Прототипная версия предложенного подхода реализована на

облачной платформе IACPaaS, редактор знаний также является облачным (доступен через Интернет). Возможно использование данного подхода и на других программных платформах. Для этого необходимо определить соответствие между конструкциями языка представления знаний и абстрактными элементами интерфейса. Важной особенностью предложенного подхода является также то, что знания о проектировании интерфейса выделены в отдельный компонент, по мере появления новых интерфейсных элементов, знаний о проектировании интерфейсов, база знаний может быть расширена.

### Список литературы

- [Белоусова и др., 2014] Белоусова С.А., Рогозов Ю.И. Анализ подходов к созданию пользовательского интерфейса // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2014.
- [Гаврилова и др, 2016] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. – СПб.: Лань, 2016.
- [Щеглов, 2009] Щеглов С.Н. Онтологический подход и его использование в системах представления знаний // Известия Южного федерального университета, 2009.
- [Cerny et al., 2012] Cerny T., Chalupa V., Donahoo M.J. Towards smart user interface design // In Info. Science and Applications (ICISA), 2012 Int. Conf. on, IEEE. 2012.
- [Gribova et al., 2015] Gribova V., Kleshev A., Krylov D., Moskalenko P., Timchenko V., Shalfeyeva E. A Cloud Computing Platform for Lifecycle Support of Intelligent Multi-agent Internet-services // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE). Hong Kong, PEOPLES R CHINA. Apr 19-20. USA. Lancaster: Destech Publications, Inc. Pp. 231-235. ISBN 978-1-60595-256-7. 2015.
- [Gribova et al., 2017] Gribova V., Kleshev A., Moskalenko P., Timchenko V., Fedorischev L., Shalfeyeva E. The IACPaaS Cloud Platform: Features and Perspectives // 2017 Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (Vladivostok, Russia, 25-29 sept. 2017). DOI: 10.1109/RPC.2017.8168076. IEEE. 2017.
- [Macik et al., 2014] Macik M., Cerny T., Slavik P. Context-sensitive, cross-platform user interface generation // Journal on Multimodal User Interfaces. 2014. Vol. 8. Iss. 2.
- [Macik, 2016] Macik M. Automatic User Interface Generation // Thesis. DOI: 10.13140/RG.2.2.23963.26401. 2016.

УДК 004.89

## СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИЙ В НОТАЦИИ RVML<sup>1</sup>

Н.О. Дородных (*tualatin32@mail.ru*)  
Институт динамики систем и теории управления  
им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск

С.А. Коршунов (*info@centrasib.ru*)  
ООО «ЦентраСиб», Иркутск

Эффективное применение языков разработки продукционных баз знаний требует использования и создания специализированного инструментария, обеспечивающего не только разработку баз знаний, но и визуализацию данного процесса. Для решения задачи визуализации перспективным является использование специализированных нотаций, расширяющих существующие, в частности UML. Примером подобной нотации является Rule Visual Modeling Language (RVML). В работе рассмотрены основные элементы RVML и программного средства, обеспечивающего его поддержку.

**Ключевые слова:** визуальное моделирование, база знаний, правила, представление знаний, RVML

### Введение

В рамках исследований по искусственному интеллекту накоплен большой опыт и широкий спектр различных средств и методов представления и обработки знаний. Несмотря на возрастающую в последнее время популярность семантических технологий и, в частности, онтологий, как одного из основных формализмов представления знаний, до сих пор наиболее распространенными и востребованными при разработке экспертных систем (ЭС) остаются языки представления знаний (ЯПЗ) основанные на правилах. Привлекательность данной модели представления знаний обусловлена ее про-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-37-00006).

стойкой и наглядностью для предметников, высокой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений и прозрачностью механизма логического вывода.

При наличии множества ЯПЗ продукционного типа: CLIPS, Jess, Drools, RuleML, SWRL и др. и стандартов, например, RIF (Rule Interchange Format), остается актуальной задача автоматизации создания баз знаний (БЗ) при помощи специализированного программного обеспечения. На основе классификации [Гаврилова и др., 2008] можно выделить следующие основные группы подходов, реализуемых в программном обеспечении, решающем данную задачу.

- Текстовый, обеспечивающий прямое манипулирование конструкциями ЯПЗ. Подход ориентирован на программистов, реализуется в форме специализированных редакторов, некоторые из которых поддерживают подсветку синтаксиса и интерактивное определение элементов БЗ [Grissa-Touzi et al., 2007].
- Табличный, основанный на построении таблиц решений и их трансляции в программные коды на ЯПЗ. При этом используется как стандартный формализм таблиц решений [Башлыков и др., 2018], так и его специализации, например, eXtended Tabular Trees (ХТТ2) [Nalepa et al., 2012].
- Графический, обеспечивающий создание визуальных абстракций, соответствующих элементам логических правил, с последующей их трансляцией в программные коды на ЯПЗ. При этом графический подход является наиболее перспективным, так как позволяет значительно расширить круг разработчиков БЗ ЭС за счет непрограммирующих пользователей, владеющих навыками визуального моделирования.

В свою очередь в рамках графического подхода можно выделить направления, основанные на использовании:

- семантических графовых структур [JRules, 2018; Visual Rules, 2018] – данное направление хорошо представлено системами для построения концепт-карт и онтологий, однако, отсутствие общепринятой содержательной трактовки отношений между концептами при трансляции моделей в логические правила затрудняет широкое использование данного подхода при создании продукционных БЗ и ЭС: например, в инструментальном средстве VisiRule [VisiRule, 2018] используется, в том числе, цветовая дифференциация узлов, а в работе [Дородных и др., 2017] вводятся ограничения на именование концептов и отношений;
- специализированных нотаций, обеспечивающих моделирование логических и причинно-следственных отношений. При этом некоторые

из них, например, VIPR (VIsual Imperative Programming) [Кознов, 2008] содержат нестандартные условные обозначения (артефакты), что не всегда интуитивно понятно разработчику. В связи с этим перспективными являются нотации, являющиеся расширением или профилями известных языков, например, Unified Modeling Language (UML). В частности: UML-Based Rule Modeling Language (URML) [Lukichev et al., 2007] или Rule Visual Modeling Language (RVML) [Юрин, 2016], однако их применение ограничивается отсутствием или функциональными ограничениями программных средств.

Целью данной работы является разработка программного средства для создания продукционных БЗ на основе использования графической нотации RVML с возможностью интеграции с различными системами концептуального моделирования в части импорта и анализа визуальных информационных моделей, а также кодогенерации на ЯПЗ, в частности, CLIPS.

## 1. Rule Visual Modeling Language

RVML [Юрин, 2016] – язык визуального моделирования правил, предназначенный для моделирования и описания продукций. RVML основан на UML и может быть рассмотрен как его профиль расширения использующий терминологию диаграмм классов, поэтому в качестве основных элементов используются понятия «класс» и «ассоциация». Данный язык позволяет абстрагироваться от различных продукционных ЯПЗ, представляя логические правила в обобщенном виде.

При этом уточнение отдельных элементов языка (например, приоритет правила (B), значение коэффициента уверенности (KY), значение слота «по умолчанию» и др.) позволяет учесть особенности некоторых продукционных ЯПЗ, например, CLIPS или FuzzyCLIPS.

Описание основных элементов RVML может быть представлено в расширенной нотации Бэкуса–Наура (РБНФ):

```

<RVML> = {<Fact>}, {<Template>}, {<Rule>}, {<Relationship>}.
<Rule> = (<Condition>{<Condition>}), <Core>, (<Action>{<Action>}).
<Condition> = <C_Element>.
<Action> = <A_Element> {<A_Element>}.
<C_Element>      =      (<C_Operator>,      <Fact>{<Fact>})      |
(<C_Operator>, <C_Element>).
<A_Element> = <A_Operator>, (<Fact>{<Fact>}).
<A_Operator> = Add | Delete | Modify | Stop.
<C_Operator> = AND | OR | NOT.
<Fact> = <Name>, <CF>, <F_Slot> {<F_Slot>}.
<F_Slot> = <Name>, <Constraint>, <Value>.

```

<Core> = <Name>, <CF>, <P>.  
 <Name> = <String>.  
 <Value> = <Number> | (<Symbol> {<Symbol>}) | <Set>.  
 <Constraint> = > | < | = | >= | <= | <>.  
 <CF> = [0,1]. (the certainty factor)  
 <P> = [1,100]. (the priority of the rule)  
 <Template> = <Name>, <T\_Slot> {<T\_Slot>}.  
 <T\_Slot> = <Name>, <DataType>, [<Constraint>, <Default\_Value>].  
 <DataType> = String | Symbol | Number.  
 <Default\_Value> = <Value>.  
 <String> = <Symbol>{<Symbol>}.  
 <Relationship> = <Element>, <Connection>, <Element>.  
 <Connection> = <Kind>, <Name>.  
 <Kind> = <Association>|<Realization>  
 <Element> = <Condition> | <Action> | <Template> | <C\_Operator>

Графические примитивы RVML основаны на графическом примитиве UML «класс», в частности:

Шаблон факта используется для создания фактов и частей правила, таких как условие и действие (рис. 1).

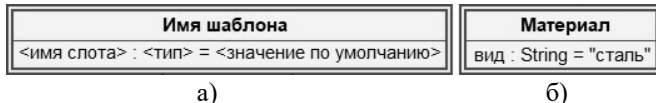


Рис. 1. Шаблон факта в RVML: а) общее представление; б) пример

Факт как элемент условия логического правила используется для представления фактов, над которыми проводятся манипуляции в рабочей памяти. Данный примитив позволяет представить не только описание факта (слоты и их значение), но и коэффициент уверенности (КУ) (рис. 2).



Рис. 2. Факт в RVML (как условие правила): а) общее представление; б) пример

Факт как действие в правиле представлена на рис.3.

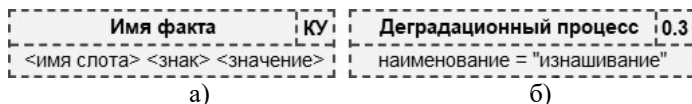


Рис. 3. Факт в RVML (как действие правила): а) общее представление; б) пример



Логическое правило представляется в виде композиции экземпляров трех примитивов: фактов, как условий; фактов, как действий и «ядра» как узлового элемента для связи условий и действий. Узловой элемент позволяет представить наименование правила, коэффициент уверенности (КУ) и приоритет (В) (рис. 4).



Рис. 4. Узловой элемент правила в RVML: а) общее представление; б) пример

Соединение между элементами (рис.5), представлена как ассоциация, содержащая узел для отображения операции с фактами в рабочей памяти: «+» – добавление; «-» – удаление; «~» – изменение; «!» – остановка логического вывода.

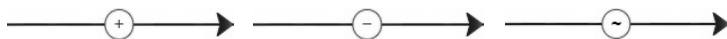


Рис. 5. Соединение между элементами в RVML

На рис. 6 представлен пример конструкций RVML: шаблон правила (обобщенное правило).

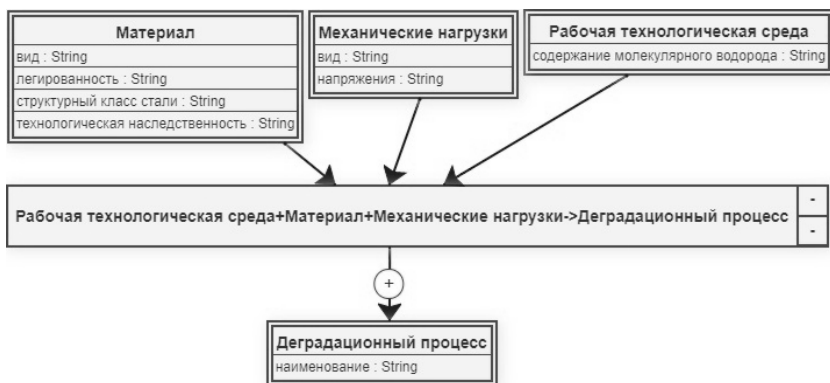


Рис. 6. Примеры конструкций RVML (шаблон правила)

RVML позволяет: использовать отдельные графические примитивы для отображения всех элементов продукций, а не стереотипы или типизированные классы как в UML; присваивать отдельным фактам субъективные вероятности в виде коэффициентов уверенности; наглядно отображать тип выполняемых действий, таких как добавление, изменение, удаление.

## 2. Программное средство моделирования продукций в RVML

Основным назначением разработанного программного средства в форме веб-редактора RVML является поддержка визуального моделирования БЗ продукционного типа в нотации RVML. Редактор ориентирован на непрограммирующего специалиста (например, эксперта предметной области, аналитика), рассмотрим его основные функции и архитектуру.

### 2.1. Функции

В контексте разработки БЗ, разработанный веб-редактор предоставляет следующий набор основных функций:

- создание, открытие и сохранение БЗ;
- просмотр элементов БЗ с использованием RVML;
- создание, изменение и удаление отдельных элементов БЗ (шаблонов фактов и правил, начальных фактов, конкретных правил);
- генерация кода БЗ на целевом ЯПЗ, в частности, CLIPS, включая описание слотов, шаблонов, фактов, правил.

Дополнительными возможностями веб-редактора является интеграция с внешними программными системами, в частности:

KBDS (Knowledge Base Development System) [Юрин и др., 2014] – веб-ориентированной программной системой автоматизированной разработки программных компонентов (конверторов), обеспечивающих генерацию кода БЗ на основе трансформации различных информационных (концептуальных) моделей предметных областей. Благодаря данной системе пользователь получает возможность сформировать прототип (каркас) БЗ на основе концептуальной модели, с последующим его уточнением в редакторе RVML.

PKBD (Personal Knowledge Base Designer) [Дородных и др., 2016] – настольным редактором для прототипирования БЗ. Данная система позволяет произвести проверку работоспособности (тестирование) созданной БЗ путем:

- обеспечения логического вывода с использованием подключаемых библиотек машин вывода, с целью проверки адекватности созданных БЗ;
- описания (протоколирования) процесса поиска решения (цепочки активированных правил) с целью объяснения полученных результатов;
- формирования отчетов с описанием БЗ (правил, шаблонов и фактов) и результатов логического вывода.

## 2.2. Архитектура

С целью реализации данных функций, разработана клиент-серверная архитектура веб-редактора RVML, включающая следующие модули:

- подсистему визуализации БЗ, обеспечивающую манипулирование графическими примитивами RVML;
- базу данных (БД) для хранения моделей; структура БД содержит только общие конструкции, разделяемые большинством производственных ЯПЗ, что позволяет представить знание в собственном независимом от конкретного ЯПЗ (например, CLIPS, Jess, Drools и др.) формате;
- модуль интеграции с внешними приложениями, обеспечивает поддержку API для взаимодействия с KBDS и PKBD;
- модуль синтеза программных кодов, позволяет сгенерировать код БЗ в формате CLIPS на основе сформированных RVML-диаграмм;
- модуль генерации отчетов, обеспечивает распечатку (вывод на принтер) описания БЗ: правил, шаблонов и фактов.

## 2.3. Интерфейс

Графический интерфейс веб-редактора RVML (рис. 7) можно разделить на три основных области: главное меню, навигационная панель, рабочая область.

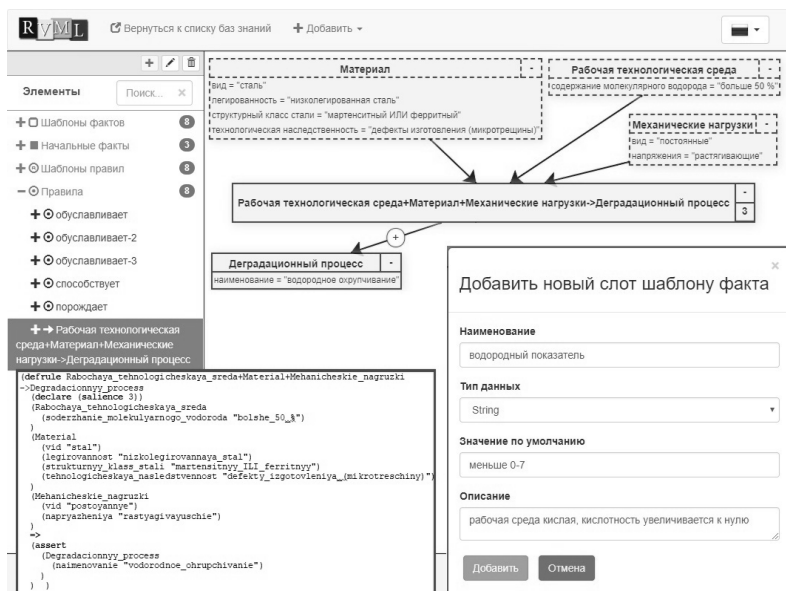


Рис. 7. Интерфейс веб-редактора RVML

Главное меню расположено в верхней части экрана, обеспечивает доступ к проектам БЗ пользователя (создание, открытие, сохранение); функциям по добавлению новых элементов БЗ (шаблонов фактов и правил, начальных фактов и конкретных правил) и генерации кода БЗ в формате CLIPS.

Навигационная панель расположена слева и обеспечивает управление элементами БЗ (просмотр, изменение, удаление), поиск и фильтрацию элементов БЗ.

Рабочая область – центральный и основной элемент интерфейса редактора, отображающий выбранные элементы БЗ в нотации RVML. Отображаемые элементы БЗ являются интерактивными (перемещение элементов, поддержка горячих клавиш и т.д.).

Процесс ввода и редактирования элементов БЗ осуществляется при помощи последовательности экранных форм (модальных окон).

## Заключение

Языки представления знаний, основанные на правилах, по-прежнему остаются самыми распространенными и востребованными при разработке ЭС, несмотря на популярность семантических технологий и, в частности, онтологий. Эффективное применение этих языков требует использования и разработки специализированного программного обеспечения, обеспечивающего не только собственно синтез языковых конструкций и создание программ, но и визуализацию данного процесса.

Для решения задачи визуализации процесса разработки продукционных БЗ существует ряд подходов, основанных на использовании семантических графовых структур и специализированных нотаций. При этом перспективным является использование специализированных нотаций, расширяющих существующие языки, например, UML. Одной из подобных нотаций является RVML, обеспечивающий не только моделирование логических правил на основе узнаваемых графических примитивов (основанных на примитивах диаграмм классов UML), но и учет особенностей отдельных элементов ЯПЗ (например, приоритет правила и др.).

В работе рассмотрены основные элементы RVML и программного средства, обеспечивающего его поддержку, реализованного с использованием PHP, Yii2 Framework, MySQL, а также библиотек jQuery и jsPlumb.

## Список литературы

- [Башлыков и др., 2018] Башлыков А.А., Еремеев А.П. Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике. – М.: Инфра-М, 2018.
- [Гаврилова и др., 2008] Гаврилова Т.А., Гулякина Н.А. Визуальные методы работы со знаниями: попытка обзора // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008, № 1.
- [Гаврилова и др., 2016] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. – СПб.: Лань, 2016.
- [Дородных и др., 2016] Дородных Н.О., Грищенко М.А., Юрин А.Ю. Система программирования продукционных баз знаний: Personal Knowledge Base Designer // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем, 2016, № 6.
- [Дородных и др., 2017] Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Использование концепт-карт для автоматизированного создания продукционных баз знаний // Программные продукты и системы, 2017, № 4.
- [Кознов, 2008] Кознов Д.В. Основы визуального моделирования. – М: БИНОМ, 2008.
- [Юрин и др., 2014] Юрин А.Ю., Дородных Н.О. Web-сервис для автоматизированного формирования продукционных баз знаний на основе концептуальных моделей // Программные продукты и системы, 2014, № 4.
- [Юрин, 2016] Юрин А.Ю. Нотация для проектирования баз знаний продукционных экспертных систем // Объектные системы, 2016, №12.
- [Friedman-Hill, 2003] Friedman-Hill E. Jess in Action: Rule-based Systems in Java. Manning. 2003.
- [Grissa-Touzi et al., 2007] Grissa-Touzi A., Ounally H., Boulila A. VISUAL JESS: An expandable visual generator of oriented object expert systems // International Journal of Computer and Information Engineering. 2007. No. 1(11).
- [JRules, 2018] IBM WebSphere ILOG JRules. – [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSZJPZ\\_11.7.0/com.ibm.swg.im.iis.conn.jrules.use.doc/topics/ilog\\_jrules\\_container.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSZJPZ_11.7.0/com.ibm.swg.im.iis.conn.jrules.use.doc/topics/ilog_jrules_container.html).
- [Lukichev et al., 2007] Lukichev S., Giurca A., Wagner G., Gasevic D., Ribaric M. Using UML-based rules for web services modeling // Proc. the Second International Workshop on Services Engineering. 2007.
- [Nalepa et al., 2012] Nalepa G.J., Kluza K. UML representation for rule-based application models with XTT2-based business rules // International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 2012. No. 22(4).
- [VisiRule, 2018] VisiRule. Logic Programming Associates. – [http://www.lpa.co.uk/ind\\_hom.htm](http://www.lpa.co.uk/ind_hom.htm).
- [Visual Rules, 2018] Visual Rules BRM. – <https://www.bosch-si.com/bpm-and-brm/visual-rules/business-rules-management.html>.

УДК 004.822:004.89

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СППР  
В СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ПРЕДМЕТНЫХ  
ОБЛАСТЯХ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ<sup>1</sup>**

Г.Б. Загоруйко (*gal@iis.nsk.su*)  
Институт систем информатики им. А.П. Ершова  
СО РАН, Новосибирск

В докладе описываются методические аспекты разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях. Представлены концепция комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР и технология разработки интеллектуальных информационно-аналитических ресурсов. Основное внимание уделяется методике использования данной технологии и предложенных концепцией подходов к разработке типового СППР при диагностике и выборе лечения заболеваний.

**Ключевые слова:** разработка интеллектуальных СППР, информационно-аналитический ресурс, онтологии, сервисы

### **Введение**

Разработка систем поддержки принятия решений (СППР) в слабоформализованных предметных областях (СФПО) – важная, актуальная задача. Эти СФПО характеризуются отсутствием строгих математических моделей, преобладанием декларативных описаний понятий, связей между ними, процессов вывода новых знаний из имеющихся. В таких областях используется преимущественно качественная информация, а количественные данные недоопределены или нечетки. В СФПО продолжается интенсивная компьютеризация. Именно в них принимаются наиболее важные решения. Работа по их принятию сложна, а ответственность за результат велика. Си-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (№ 16-07-00569).

стемы поддержки принятия решений, использующие методы искусственного интеллекта, способны существенно облегчить задачу лица, принимающего решения (ЛПР).

Современная прикладная интеллектуальная СППР (ИСППР) может включать несколько взаимосвязанных подсистем: информационную, моделирующую, аналитическую, оценивающую, экспертную. Эти подсистемы, решая общую задачу, используют разные подходы и методы. В работе [Гребенщиков и др., 2012] описывается подход к разработке ИСППР для управления проектными работами при обустройстве месторождений нефти и газа на основе объектно-ориентированной методологии моделирования. Технологии разработки СППР как информационно-аналитических систем, построенных на основе хранилищ данных и использующих методы их интеллектуального анализа, представлены в [Щеглов, 2008]. Разработке экспертных СППР, использующих большой набор методов принятия решений, посвящена работа [Кравченко и др., 2012].

Создание комплексных интеллектуальных СППР, обладающих требуемой функциональностью и предназначенных для определенных областей, сопряжено с большими трудностями, которые усугубляются отсутствием доступных универсальных средств разработки.

Однако в свободном доступе существует много описаний методов [Петровский, 2009; Саати, 1989] и их готовых реализаций [Кулинич, 2002], которые можно использовать при разработке ИСППР.

Автором была предложена концепция комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР от проектирования до непосредственной реализации, предполагающая максимальное использование готовых методических и программных решений [Загоруйко и др., 2016a]. Эта концепция, базирующаяся на онтологическом и сервис-ориентированном подходах, на технологиях Semantic Web [Hitzler et al., 2009], предлагает в качестве каркаса интеллектуальных СППР использовать информационно-аналитические интернет-ресурсы (ИАИР), построенные с помощью технологии, разработанной при участии автора [Загоруйко и др., 2016b].

Доклад посвящен описанию методических аспектов разработки интеллектуальных СППР в СФПО. Кратко представлены концепция комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР и технология разработки ИАИР. Основное внимание уделяется методике использования технологии и предложенных концепцией подходов к разработке типовой СППР при диагностике и выборе лечения заболеваний.

## **1. Концепция комплексной поддержки разработчиков ИСППР**

В разработке интеллектуальных СППР участвуют специалисты разного профиля – программисты, инженеры знаний, владеющие методами представления знаний и поддержки принятия решений, и эксперты той области знаний (ОЗ), для которой создается интеллектуальная СППР. Поэтому на начальных этапах разработки большое значение имеет концептуальный базис, который должен обеспечивать указанные группы специалистов единой системой понятий и дающий им общее представление об ОЗ «Поддержка принятия решений». Согласно предложенной концепции такой базис обеспечивается онтологией данной области.

Помимо общих представлений об ОЗ разработчикам также необходима информация о конкретных методах поддержки принятия решений (ППР), о классах задач, решаемых этими методами, о возможностях и ограничениях каждого из них. Кроме этого, разработчикам должна быть доступна также информация об основных этапах принятия решений и используемых на каждом из них методах, а также об инструментальных средствах, реализующих эти методы. Такого рода информационную поддержку осуществляет специализированный информационно-аналитический интернет-ресурс, предоставляющий содержательный доступ к структурированным и систематизированным на основе онтологий знаниям, информационным ресурсам и методам, относящимся к области знаний «Поддержка принятия решений» (ИАИР ППР).

На этапе реализации интеллектуальной СППР важную роль играет компонентная поддержка разработчиков. Возможность выбрать и опробовать готовые программные компоненты, реализующие необходимые методы поддержки принятия решений, может существенно облегчить и ускорить процесс создания ИСППР. Такую поддержку процесса разработки интеллектуальных СППР обеспечивает репозиторий методов поддержки принятия решений, предоставляющий непосредственный доступ к реализациям этих методов в виде сервисов.

В качестве каркаса разрабатываемой ИСППР предлагается использовать оболочку ИАИР – типовой ресурс, созданный теми же средствами, что и ИАИР ППР, но на основе онтологии своей ОЗ.

Репозиторий ИАИР ППР, помимо методов, содержит набор компонентов пользовательского интерфейса, также реализованных в виде сервисов. Это могут быть web-приложения для опроса пользователей, для ввода информации, необходимой пользователю, для спецификации экспертных правил обработки информации и т.д.

Предлагаемые разработчикам ИСППР сервисы могут быть созданы на разных языках и платформах и располагаться на удаленных серверах.



## 2. Технология разработки ИАИР

Основным компонентом разрабатываемой ИСППР, её каркасом, на который будут нанизаны интерфейсные и функциональные компоненты, является ИАИР выбранной ОЗ (ИАИР ОЗ). Рассмотрим краткое описание технологии создания таких ИАИР.

ИАИР предназначен для информационной и аналитической поддержки научной и производственной деятельности в заданной области знаний. Он представляет собой доступную через Интернет информационную систему. Эта система систематизирует и интегрирует научные знания и информационные ресурсы определенной области знаний, а также обеспечивает содержательный эффективный доступ к ним, к методам обработки информации, используемым в данной области знаний, и к методам решения типовых для данной области задач. Для этого система предоставляет пользователям соответствующие интерфейсы и сервисы.

Построение тематического ИАИР в рамках предлагаемого подхода фактически сводится к созданию его системы знаний, т.е. включает разработку онтологии и наполнение контента ИАИР. Так как онтология составляет основу системы знаний ИАИР, важнейшим компонентом рассматриваемой технологии является методика построения онтологий, поддерживаемая инструментальными средствами (редакторами онтологий и данных), а также представительным набором базовых онтологий, на основе которых эксперты строят онтологии и тезаурусы тематических ИАИР [Загорюлько и др., 2016b].

## 3. Методика разработки интеллектуальных СППР в СФПО

В разработке ИСППР можно выделить те же этапы, что и в разработке ЭС, описанные в [Попов, 1987]. На рис. 1 представлены эти этапы с их детальным описанием и учетом специфики ИСППР.

Предлагаемые методика и программные средства упрощают и упорядочивают процесс разработки ИСППР. Как уже упоминалось выше, такая СППР строится как ИАИР на основе онтологии рассматриваемой ОЗ, к которому в виде сервисов подключаются элементы пользовательского интерфейса, выбранные методы решения задач и, при необходимости, сервисы доступа к данным из внешних хранилищ.

ИАИР ППР, обеспечивающий комплексную поддержку разработчиков, снабжает их информацией, позволяет выделить цели, задачи создаваемой ИСППР, определить необходимые для их решения методы.

Онтология выбранной ОЗ может строиться с использованием любого специализированного редактора, например, Protégé [Protégé, 2018]. Она раз-

рабатывается на основе базовых онтологий путем их доработки и конкретизации. Построенная онтология должна сохраняться на языке OWL в синтаксисе Turtle. Для использования этой онтологии в ресурсе-оболочке ИСППР необходимо задать параметры визуализации ее элементов. Это делается на основе паттернов представления [Загорюлько и др., 2017].

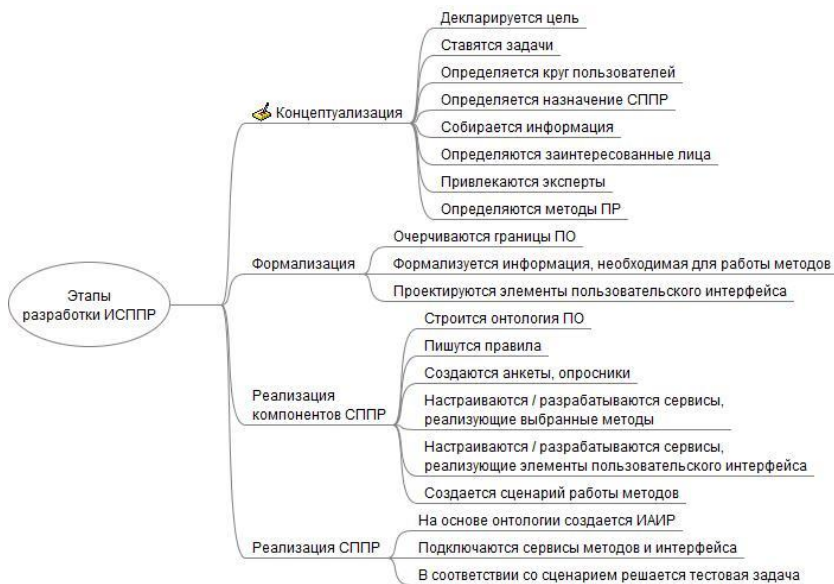


Рис. 1. Методика создания ИСППР

В случае возникновения затруднений при выборе необходимых методов разработчики могут воспользоваться интегрированной и ИАИР ППР экспертной системой (ЭС), которая в соответствии с задачами, которые должна решать ИСППР, предложит наиболее адекватные методы, реализующие их программные средства, а также элементы пользовательского интерфейса.

Например, для решения классических задач принятия решений – многокритериального выбора из ограниченного множества альтернатив, подключаются сервисы для построения анкет-опросников, проведения анкетирования и обработки его результатов. Для задач диагностики будут предложены сервисы для задания симптомов диагностируемого заболевания и подключатся машины вывода, работающие на экспертных правилах.

Выбранные для решения задач методы настраиваются для работы, при необходимости использовать внешние данные прописываются протоколы и адреса для получения этих данных. Создается сценарий решения задачи,

включающий вызов сервисов, решающих подзадачи с указанием входных и выходных данных.

На основе построенной онтологии автоматически создается ИАИР ОЗ. В соответствии со сценарием решается поставленная задача. На рис. 2 показана архитектура созданной таким образом ИСППР и схема взаимодействия её компонентов.

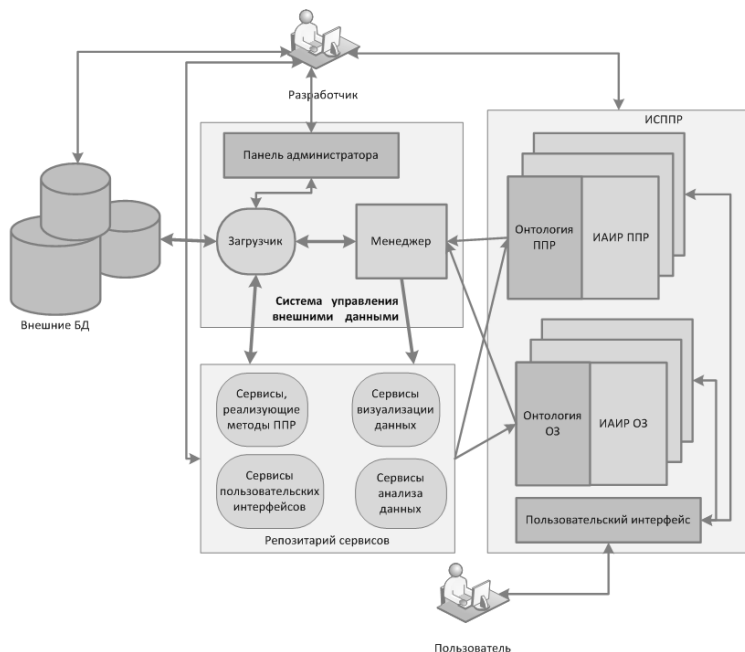


Рис. 2. Архитектура ИСППР

С использованием описанных выше средств была разработана типовая ИСППР при диагностике и лечении заболеваний. Была создана онтология медицинской диагностики и автоматически построен ИАИР «Диагностика заболеваний», главная страница которого представлена на рис. 3.

Наряду с этим ресурсом в состав ИСППР был включен ИАИР ППР. Из его онтологии был выделен фрагмент, описывающий задачи, которые должна решать данная ИСППР и необходимые для этого методы.

Онтология, представленная в левой области страницы каждого ИАИР, является, по сути, интеллектуальным каталогом, который управляет навигацией по информационному наполнению своего ресурса и обеспечивает доступ к сервисам, необходимым для решения задач, стоящих перед ИСППР.



Развернуть | Свернуть

- Аспект географического заболевания
- Аспект процедуры обследования/диагностики
- Диагнос
- Заболевание
  - Бронхолегочное заболевание
  - Гематологическое заболевание
  - Дерматологическое заболевание
  - Заразные жкт
  - Заболевание опорно-двигательного аппарата
  - Заболевания печени
  - Инфекционные заболевания
  - Неврологические заболевания
  - Онкологические заболевания
  - Сердечнососудистые заболевания
  - Стоматологические заболевания**
  - Стomatологические заболевания
  - Урологические заболевания
  - Эпителио
  - Эндокринные заболевания
  - Обследование
  - Пациент
  - Показатель
  - Средство лечения
  - Смесь лечения

Главная | Онтология | О ресурсе

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ОБЛАСТЯХ

Развернуть | Свернуть

- Географическое место
- Детальность
- Информационный ресурс
  - Метод: средство исследования
    - Вологозлапыч/Метод
    - Метод поддержки принятия решений
      - Анализ/Метод
      - Метод рассуждений
      - Имитационное моделирование
      - Аналитическое моделирование
      - Имитационное моделирование
  - Семантическое моделирование
- Экспертный метод
  - Объект исследования
  - Организация
  - Персона
  - Проект исследования
  - Публикация
  - Раздаточный материал
  - Результат продукта
  - Событие

Табличное представление | Графическое представление

Свойства объекта

Название | Онтологическое кодирование

СВЯЗИ ОБЪЕКТА

решает Задачу

Задача ППР

Структуризация предметной области

Обратные связи объекта

описывает Метод

Публикация

Колыгаевский А.И. Применение онтологий в семантических информационных системах 2014 статья  
Масель Л.В. Интеграция семантических моделей в исследованиях проблем энергетической безопасности 2014 статья

разрабатывает Метод

Персона

Вороженин О.И.  
Гаврилова Т.В.  
Загородный Г.В.  
Загородный Ю.А.  
Колыгаевский А.И.  
Масель Л.В.  
Савельев А.О.

реализует Программный продукт Метод

Программный продукт

Разработчик: ProInSpec

Система онтологического моделирования grMOnToMap

реализует Сервис Метод

Рис. 3. ИАИР в составе ИСППР при диагностике и лечении заболеваний

## Заключение

В докладе представлены методические аспекты разработки ИСППР в слабоформализованных предметных областях. Описана концепция комплексной поддержки разработки ИСППР и технология разработки интеллектуальных информационно-аналитических ресурсов. Основное внимание уделено описанию методики использования предложенных средств и демонстрации её применения для разработки типовой ИСППР при диагностике и выборе лечения заболеваний.

## Список литературы

[Гребенщиков и др., 2012] Гребенщиков С.А., Силич В.А., Комагоров В.П., Фофанов О.Б., Савельев А.О. Технология разработки системы поддержки принятия решений для управления проектными работами при обустройстве месторождений нефти и газа // Известия Томского политехнического университета, 2012, Т. 321, № 5.

- [Загорулько и др., 2016а] Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А. Подход к организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 18-20 февраля 2016 года)/ редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУИР, 2016.
- [Загорулько и др., 2016б] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016, № 2.
- [Загорулько и др., 2017] Загорулько Ю.А., Боровикова О.И., Загорулько Г.Б. Применение паттернов онтологического проектирования при разработке онтологий научных предметных областей // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: сб. науч. тр. XIX Междунар. конф. DAMDID/RCDDL'2017. – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017.
- [Кравченко и др., 2012] Кравченко Т.К., Середенко Н.Н. Создание систем поддержки принятия решений: интеграция преимуществ отдельных подходов // Искусственный интеллект и принятие решений, 2012, № 1.
- [Кулинич, 2002] Кулинич А.А. Когнитивная система поддержки принятия решений «КАНВА» // Программные продукты и системы, 2002, № 3.
- [Петровский, 2009] Петровский А.Б. Теория принятия решений: Учебник. – М.: Академия, 2009.
- [Попов, 1987] Попов Э.В. Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука, 1987.
- [Саати, 1989] Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989.
- [Щеглов, 2008] Щеглов С.Н. Современные технологии построения систем поддержки принятия решений // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2008, № 4(81).
- [Hitzler et al., 2009] Hitzler P., Krötzsch V., Rudolph S. Foundations of Semantic Web Technologies. Chapman & Hall/CRC. 2009.
- [Protégé, 2018] Protégé. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. – <http://protege.stanford.edu>.

УДК 004.89:004.832.2

## ЛОКАЛЬНЫЙ ПОИСК ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ НЕЧИСЛОВЫХ МАТРИЦ<sup>1</sup>

А.А. Зуенко (*zuenko@iimm.ru*)

Р.А. Македонов (*makedonov@iimm.ru*)

Институт информатики и математического  
моделирования ФИЦ Кольский научный центр РАН,  
Апатиты

Предложен подход к организации процедур локального поиска в задачах удовлетворения ограничений, основанный на «сжатом» представлении качественных ограничений в виде специализированных матрицеподобных структур. Сформулированы теоремы, позволяющие на основе анализа одного конкретного решения и внутренней структуры нечисловых матриц ограничений выявлять подпространства в пространствах допустимых и/или недопустимых присваиваний, что способствует ускорению вычислительных процедур.

**Ключевые слова:** задача удовлетворения ограничений, локальный поиск, качественные ограничения

### Введение

Статья продолжает цикл авторских публикаций, посвященных разработке эффективных методов удовлетворения нечисловых ограничений [Зуенко, 2014; Зуенко, 2016]. К нечисловым ограничениям относятся: многоместные отношения, логические формулы, продукционные правила.

Напомним, что, согласно [Russel et al., 2010; Осипов, 2011], *задача удовлетворения ограничений* (Constraint Satisfaction Problem) основывается на трех компонентах: во-первых,  $X$  – множество переменных  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ; во-вторых,  $D$  – множество доменов  $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ , где  $D_i$  является областью определения переменной  $X_i$ ; в-третьих,  $C$  – множество ограничений

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00377, 16-07-00562, 16-07-00273, 17-29-07021, 18-07-00615).

$\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ , которые предписывают допустимые комбинации значений переменных.

Состояние задачи описывается как *присваивание* значений некоторым (*частичное присваивание*) или всем переменным (*полное присваивание*):  $\{X_i = v_i, X_j = v_j, \dots\}$ . *Решением задачи CSP* является полное присваивание, которое удовлетворяет всем ограничениям.

Далее нас будут интересовать только задачи удовлетворения ограничений с конечными областями определения переменных.

В практических приложениях, предполагающих обработку большого объема информации, методы, опирающиеся только лишь на исследование дерева поиска, оказываются недостаточно эффективными, а на передний план выходят методы локального поиска, а также гибридные методы, сочетающие преимущества локального и систематического поиска. Алгоритмы локального поиска являются эффективными средствами решения задач CSP [Russel et al., 2010]. Алгоритмы локального поиска могут успешно использоваться для оперативной корректировки в случае изменения условий задачи, что особенно важно в задачах планирования.

Эффективность подобных методов сильно зависит от используемых в процессе поиска программных структур, с помощью которых представляются ограничения предметной области. В статье разрабатываются методы локального поиска для задач удовлетворения нечисловых ограничений. Для представления качественных ограничений (зависимостей предметной области) предложено использовать специализированные матрицеподобные структуры (*C*- и *D*-системы). Ранее исследований по применению методов локального поиска к задачам CSP, представленным в виде совокупности *C*- и *D*-систем, не проводилось.

## 1. Свойства нечисловых матриц

Зачастую, многоместные отношения могут быть выражены более компактно, чем полным перечислением своих кортежей. Любое отношение может быть представлено как объединение декартовых произведений некоторых множеств. Эта мысль наглядно проиллюстрирована на рис. 1, где слева показано отношение, записанное в виде обычной таблицы, а справа – «сжатая» форма записи многоместного отношения в виде специализированной матрицы.

Здесь области определения переменных:

$$X = \{a, b, c, d\}, Y = \{1, 2, 3, 4, 5\}.$$

Фактически при матричной записи на рис. 1(b) между компонентами одной строки опускается знак операции  $\times$  (декартово произведение), а между строками явно не записывается знак операции  $\cup$  (объединение множеств).

X	Y
c	1
c	2
c	4
c	5
b	2
b	4
d	1
d	5

(a)

X	Y
{c}	{1,2,4,5}
{b}	{2,4}
{d}	{1,5}

(b)

Рис.1. Табличное представление ограничения (а); представление ограничения в виде специализированной матрицы (b)

Предлагаемый вниманию математический аппарат для «сжатого» представления множественных отношений используют два типа матрицеподобных структур [Кулик и др., 2010; Zakrevskij, 2013]. Первый тип – это *C*-системы. *C*-система – это нечисловая матрица, где в качестве ячеек выступают не отдельные элементы, а множества.

Распишем *C*-систему, представленную на рис.1(b) в явном виде, то есть в форме алгебраического выражения над множествами:

$$T[XY] = \begin{bmatrix} \{c\} & \{1,2,4,5\} \\ \{b\} & \{2,4\} \\ \{d\} & \{1,5\} \end{bmatrix} = \{c\} \times \{1, 2, 4, 5\} \cup \{b\} \times \{2, 4\} \cup \{d\} \times \{1, 5\}.$$

Графически каждый *C*-кортеж соответствует некоторой области в признаковом пространстве (декартову произведению множеств), а вся *C*-система – объединению этих областей.

Другой тип матрицеподобных структур, обеспечивающий компактное представление множественных отношений, – это *D*-система. Данная матрица записывается в обратных скобках. Ниже приводится *D*-система  $P[XY]$ , которая эквивалентна рассмотренной ранее *C*-системе  $T[XY]$ , поскольку обе эти структуры описывают одну и ту же таблицу, представленную на рис. 1(a).



$$P[XY] = \begin{bmatrix} \{c, d\} & \{2, 4\} \\ \{b, c\} & \{1, 5\} \\ \emptyset & \{1, 2, 4, 5\} \end{bmatrix} = (\{c, d\} \times \{1, 2, 3, 4, 5\} \cup \{a, b, c, d\} \times \{2, 4\}) \cap (\{b, c\} \times \{1, 2, 3, 4, 5\} \cup \{a, b, c, d\} \times \{1, 5\}) \cap (\{a, b, c, d\} \times \{1, 2, 4, 5\}).$$

Пустая компонента « $\emptyset$ » – это фиктивная компонента, не содержащая значений. Другой фиктивной компонентой является полная компонента «\*» – сокращенное обозначение всего диапазона возможных значений (домена) атрибута.

$D$ -система расписывается как сложное алгебраическое выражение. Каждая строка  $D$ -системы описывает область в признаковом пространстве. Эта область имеет более сложную структуру, чем декартово произведение (объединение декартовых произведений). Вся  $D$ -система есть пересечение областей, соответствующих отдельным строкам.

В настоящей работе впервые приводится строгая формализация понятий « $C$ -система» и « $D$ -система», которая сводится к указанию характеристических функций для этих двух форм представления множественных отношений.

Пусть имеется  $C$ -система  $T[S]$ , заданная в общем виде:

$$\begin{array}{cccc} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ D_1 & D_2 & \dots & D_n \\ 1 & \left[ \begin{array}{cccc} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{m1} & K_{m2} & \dots & K_{mn} \end{array} \right] \\ 2 & & & \\ \dots & & & \\ m & & & \end{array}.$$

Для удобства объяснения здесь и далее в верхних двух строках  $C$ - и  $D$ -систем записываются имена атрибутов (схема) и множества допустимых значений этих атрибутов (домены атрибутов), а строки пронумерованы.

Тогда характеристическая функция  $\chi_{T[S]}$ :

$$\chi_{T[S]} = \min[\chi_{D_1}(X_1), \dots, \chi_{D_n}(X_n), \max(\min(\chi_{K_{ij}}(X_j)))].$$

Данное соотношение задает зависимость между характеристической функцией  $C$ -системы и характеристическими функциями ее компонент и доменов атрибутов отношения.

По аналогии, можно указать характеристическую функцию для  $D$ -системы  $P[S]$ , заданной в общем виде:

$$\chi_{P[S]} = \min[\chi_{D_1}(X_1), \dots, \chi_{D_n}(X_n), \min(\max(\chi_{K_{ij}}(X_j)))].$$

В настоящей работе сформулированы две теоремы (для  $D$ -систем), лежащие в основе описанных ниже методов локального поиска.

В  $D$ -системе со схемой  $S$  и множеством номеров кортежей  $\{n_m\}$  выберем некоторый атрибут  $X$  ( $X$  входит в схему  $S$ ) с доменом  $D_X = \{a_k\}$ . Для значений из  $D_X$  введем отношение частичного порядка « $\leq$ » следующим образом:  $a_i \leq a_j$ , тогда и только тогда, когда  $\{n_i\} \subseteq \{n_j\}$ , где:  $a_i, a_j \in D_X$ ; а  $\{n_i\} \subseteq \{n_m\}$  и  $\{n_j\} \subseteq \{n_m\}$  есть множества номеров строк (кортежей)  $D$ -системы, компоненты которых в атрибуте  $X$  содержат значения  $a_i$  и  $a_j$ , соответственно. Очевидно, что отношение частичного порядка, сформированное на некотором домене согласно введенному определению, не зависит от способа упорядочения строк  $D$ -системы (строки можно переставлять местами).

Например, пусть в пространстве  $S = \{a, b, c\} \times \{d, e, f\} \times \{h, g, k\}$  имеется  $D$ -система:

	X	Y	Z	
	$\{a, b, c\}$	$\{d, e, f\}$	$\{h, g, k\}$	
1	$\{c\}$	$\{d, e\}$	$\{h\}$	[ .
2	$\{a\}$	$\{e\}$	$\{g\}$	
3	$\emptyset$	$\{f\}$	$\{h\}$	
4	$\emptyset$	$\{f\}$	$\{k\}$	

Выберем атрибут  $Y$ . Множество  $\{n_i\}$  строк  $D$ -системы, содержащих в компонентах  $Y$  значение  $d$ , представляет собой одноэлементное множество:  $\{1\}$ . Для значения  $e$  множество строк –  $\{1, 2\}$ .

Поскольку  $\{1\} \subseteq \{1, 2\}$ , то  $d \leq e$ .

*Теорема 1.* Если некоторое значение  $a_j$  атрибута  $X$  входит в недопустимое присваивание, то при замене этого значения на другое значение  $a_i$  атрибута  $X$ , такое что  $a_i \leq a_j$ , также получится недопустимое присваивание.

Пусть для приведенной в примере  $D$ -системы получено частичное решение:  $Y - \{e\}$ .

Это решение является недопустимым, то есть ни один элемент из подпространства  $\{a, b, c\} \times \{e\} \times \{h, g, k\}$  не является решением поставленной CSP. Вспомним, что  $d \leq e$ . Тогда, по теореме 1 из пространства поиска  $S = \{a, b, c\} \times \{d, e, f\} \times \{h, g, k\}$  можно исключить область  $\{a, b, c\} \times \{d, e\} \times \{h, g, k\}$ . Другими словами, домен переменной  $Y$  сужается до одноэлементного множества  $\{f\}$  и решение (если оно существует) следует искать в подпространстве  $\{a, b, c\} \times \{f\} \times \{h, g, k\}$ .

*Теорема 2.* Если некоторое значение  $a_i$  атрибута  $X$  входит в допустимое присваивание, то при замене этого значения на другое значение  $a_j$  атрибута  $X$ , такое что  $a_i \leq a_j$ , также получится допустимое присваивание.

Если получено некоторое решение задачи CSP, то на основе теоремы 2, проанализировав одно конкретное решение, иногда удается выделить подпространство в пространстве допустимых присваиваний.

## 2. Локальный поиск на основе анализа нечисловых матриц

К методам локального поиска относят: поиск с восхождением к вершине, имитация отжига (simulated annealing), поиск с запретами, роевой интеллект, генетические алгоритмы [Курейчик, 2012]. Эти методы отличаются способами преодоления «ловушек» локальных оптимумов.

В методах локального поиска в начальном состоянии присваивается значение каждой переменной. Если не достигнут локальный оптимум, то из текущего состояния, описываемого заданными значениями всех переменных, можно попасть только в состояние, непосредственное соседнее с текущим. Способ определения соседнего состояния зависит от специфики решаемой задачи. Среди всех соседних состояний на основе эвристики выбираются наиболее предпочтительные варианты.

Наиболее популярной эвристикой, которая применяется при выборе соседнего состояния (следующего рассматриваемого присваивания) является эвристика с *минимальными конфликтами*: выбирается то присваивание (вектор присваиваний), которое противоречит минимальному числу ограничений задачи CSP. Интерпретация понятия «конфликт» в терминах нечисловых матриц приводится ниже.

Дальнейшее описание подхода к реализации методов локального поиска на основе представления качественных зависимостей предметной области в виде нечисловых матриц проведем на следующем примере.

*Пример.* Пусть имеется персональный компьютер, собранный на материнской плате Gigabyte GA-EP45-UD3LR. В состав компьютера входит центральный процессор Pentium Dual Core E5200, стандартное охлаждение Intel с максимальным тепловыделением 80Вт, оперативная память Samsung DDR2-800 1Гб – 2 планки, жесткий диск 1Тб Samsung HD103UJ Sata-2.

Требуется провести модернизацию компьютера, используя имеющиеся комплектующие (процессоры, модули ОЗУ, кулеры для охлаждения процессоров), представленные в табл. 1. Сложность состоит в том, что комплектующие не всегда совместимы.

Например, для процессора Core 2 Quad Q9650 (обозначение  $c$ ) нельзя ставить кулеры под индексами  $i$ ,  $k$ ,  $l$  так как тепловыделение процессора слишком велико для данных кулеров, что может привести к его перегреву. Также при использовании процессоров  $c$  и  $d$  нет смысла использовать малое

количество оперативной памяти, так как потенциал процессоров не будет раскрыт. Вариант  $e$  (память меньше 8 Гб) не раскрывает потенциал рассматриваемого процессора. При установке четырех планок оперативной памяти (вариант  $f$  и  $h$ ) невозможно использовать кулер с индексом  $m$ , так как его размеры закрывают первый слот оперативной памяти на материнской плате, а все 4 слота должны использоваться.

Табл. 1.

	Центральный процессор (X)		ОЗУ (Y)		Кулер (Z)
$a$	Pentium Dual Core E5200 (800МГц, 65Вт)	$e$	2x DDR2-800 Samsung 1Гб	$i$	Intel Original (Al) (80Вт)
$b$	Core 2 Duo E6700 (1066МГц, 65Вт)	$f$	4x DDR2-800 Samsung 2Гб	$k$	Zalman CNPS5X Perfoma (100Вт)
$c$	Core 2 Quad Q9650 (1333МГц, 130Вт)	$g$	2x DDR2-800 Samsung 4Гб	$l$	Zalman CNP S9800 Max (120Вт)
$d$	Хеон* E5450 (1333МГц, 80Вт)	$h$	4x DDR2-800 Samsung 4Гб	$m$	Thermaltake Contac Silent 12 (150Вт)

Запреты на допустимые комбинации комплектующих могут быть выражены в виде следующей формулы:

$$(x = c, d) \wedge (y = e) \vee (x = c) \wedge (z = i, k, l) \vee (y = f, h) \wedge (z = m).$$

Также запреты можно записать в форме следующей  $C$ -системы:

$$\begin{array}{ccc} X & Y & Z \\ \{a, b, c, d\} & \{e, f, g, h\} & \{i, k, l, m\} \\ 1 \left[ \begin{array}{ccc} \{c, d\} & \{e\} & * \\ \{c\} & * & \{i, k, l\} \\ * & \{f, h\} & \{m\} \end{array} \right]. \end{array}$$

Дополнением данной  $C$ -системы является представленная ниже  $D$ -система, описывающая допустимые комбинации элементов:

$$\begin{array}{ccc} X & Y & Z \\ \{a, b, c, d\} & \{e, f, g, h\} & \{i, k, l, m\} \\ 1 \left[ \begin{array}{ccc} \{a, b\} & \{f, g, h\} & \emptyset \\ \{a, b, d\} & \emptyset & \{m\} \\ \emptyset & \{e, g\} & \{i, k, l\} \end{array} \right]. \end{array}$$

Видно, что для атрибута  $X$  выполняется  $d \leq a, b$ . Для атрибута  $Y$  имеем:  $e, f, h \leq g$ . Допустим, изначально сгенерирован следующий вектор присваиваний:  $X - \{c\}, Y - \{g\}, Z - \{l\}$ .

Подсчет количества конфликтов осуществляется следующим образом. Каждая строка  $D$ -системы сравнивается с вектором присваиваний. Если хотя бы одна компонента проверяемой строки  $D$ -системы содержит соответствующую компоненту вектора присваиваний, то в строке конфликт не обнаружен. В противном случае в данной строке обнаружен конфликт. В частности, заданное присваивание  $X - \{c\}, Y - \{g\}, Z - \{l\}$  приводит к тому, что обнаруживается единственный конфликт в строке 2.

Учитывая отношения частичного порядка на областях определения атрибутов  $X$  и  $Y$ , согласно теоремам 1 и 2, можно сделать вывод, что любое состояние из подпространства  $\{c\} \times \{e, f, h, g\} \times \{l\}$  не приводит к лучшему значению эвристической оценочной функции – количество конфликтов либо не изменяется, либо становится больше.

Действительно, рассмотрим, например присваивание:  $X - \{c\}, Y - \{e\}, Z - \{l\}$ . Количество конфликтов в данном случае равно 2: конфликты обнаруживаются в строках 1 и 2. Можно убедиться, что для остальных ранее не рассмотренных состояний из данного подпространства количество конфликтов также равно 1. Другими словами, изменять переменную  $Y$  нет смысла.

Поскольку для значений переменной  $X$  известен частичный порядок, то целесообразно изменять именно переменную  $X$ . Причем, имеет смысл рассматривать одно из доминирующих значений, так как, если оно не дает решение, то можно сделать вывод о недопустимости целого подпространства присваиваний. Например, можно рассмотреть присваивание  $X - \{a\}, Y - \{g\}, Z - \{l\}$ . Данное присваивание является решением рассматриваемой задачи CSP. Более того, на основе анализа данного одного конкретного решения и отношений на множестве значений переменной  $X$  можно построить подпространство в пространстве допустимых присваиваний, а именно:  $X - \{a, b\}, Y - \{g\}, Z - \{l\}$ . Также процесс решения задачи CSP можно ускорить, если генерировать начальное присваивание не произвольным образом, а составлять его из доминирующих значений соответствующих переменных.

## Заключение

Предложен оригинальный подход к организации процедур локального поиска при решении задач CSP, основанный на «сжатом» представлении нечисловых ограничений в виде специализированных матрицеподобных структур. Исследованы свойства матричного представления нечисловых ограничений и сформулированы теоремы, позволяющие на основе анализа одного конкретного решения задачи CSP и внутренней структуры матриц

ограничений (*C*- и *D*-систем) выявлять целые подпространства в пространствах допустимых и/или недопустимых присваиваний (решений), что способствует ускорению вычислительных процедур.

### Список литературы

- [Зуенко, 2014] Зуенко А.А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов // Искусственный интеллект и принятие решений, 2014, № 3.
- [Зуенко, 2016] Зуенко А.А. Применение методов распространения ограничений в слабо формализованных предметных областях // КИИ-2016: материалы Пятнадцатой национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием. Смоленск, 3-7 октября 2016 г. – Смоленск: Универсум, 2016, Т. 3.
- [Кулик и др., 2010] Кулик Б.А., Зуенко А.А., Фридман А.Я. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
- [Курейчик, 2012] Курейчик, В.В. Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2012, №7 (132).
- [Осипов, 2011] Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011.
- [Russel et al., 2010] Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Prentice Hall. 2010.
- [Zakrevskij, 2013] Zakrevskij A. Integrated Model of Inductive-Deductive Inference Based on Finite Predicates and Implicative Regularities. In: “Diagnostic Test Approaches to Machine Learning and Commonsense Reasoning Systems”. – IGI Global. 2013.

УДК 004.82

## МЕТОДИКА ГРУППОВОЙ РАБОТЫ ПО ВИЗУАЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ ГРАФА ЗНАНИЙ<sup>1</sup>

Д.В. Кудрявцев (*d.v.kudryavtsev@gsom.pu.ru*)

Т.А. Гаврилова (*gavrilova@gsom.pu.ru*)

И.А. Лещева (*leshcheva@gsom.pu.ru*)

А.М. Беглер (*alena.begler@gmail.com*)

М.В. Кубельский (*mirqube@gmail.com*)

Институт «Высшая школа менеджмента» СПбГУ,  
Санкт-Петербург

О.Н. Тушканова (*tushkanova.on@gmail.com*)

ООО «Информационные крылья», Санкт-Петербург

В докладе предлагается методика разработки графа знаний с акцентом на визуализации и групповой работе. Предложенная методика была создана в рамках проекта совместно с компанией-автопроизводителем, в которой возникла потребность в систематизации, упорядочивании и переиспользовании знаний о деталях автомобилей. Область применения методики определяется сложной структурой свойств объектов и потребностью в вовлечении экспертов.

**Ключевые слова:** граф знаний, онтология, инженерия знаний

### Введение

Задача создания и формулирования методики визуальной коллективной разработки онтологического графа знаний возникла в связи с производственной необходимостью систематизации, упорядочивания и переиспользования знаний о сборочных единицах различных автомобилей внутри компании-автопроизводителя. Элементами графа знаний данного предприятия являются сборочные единицы (СЕ) – детали различных автомобилей (в основном, грузовиков), производимых в компании. Граф знаний должен стать основой для создаваемой информационно-справочной системы, в которой пользователи (инженер, менеджер по закупкам, экономист и др.) смогут

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-00228).

найти необходимую им СЕ по характеристикам, а также сравнить её с аналогами. Актуальность данной системы объясняется тем, что компания занимается производством электромобилей с использованием компонент, уже представленных на рынке, и поиск информации об изделиях поставщиков занимает серьезную долю времени сотрудников. В системе предполагается иметь как информацию о тех СЕ, которые уже используются в компании, так и о тех, которые представлены на рынке в каталогах поставщиков. В перспективе граф знаний планируется использовать в роботизированном производстве (сборке), которое также развивается в компании. Заказчиком методики и графа знаний является сейчас IT-подразделение, осуществляющее цифровизацию всех бизнес-процессов предприятия. Для пилотного проекта планировалось использовать около 120 СЕ, однако в процессе разработки выяснилось, что для большинства СЕ в открытых источниках нет достаточно подробного описания. В результате было взято 50 СЕ.

## **1. Графы знаний, онтологии и методы их разработки**

Граф знаний – это множество типизированных сущностей (с атрибутами), которые связаны друг с другом типизированными отношениями. Типы сущностей, состав атрибутов и типы отношений определяются схемой, которая называется онтологией [Villazon-Terrazas et al., 2017].

Онтология, или концептуальная модель предметной области, состоит из иерархии понятий предметной области, связей между ними и законов, которые действуют в рамках этой модели. Основной задачей онтологии является выполнение роли основы для понимания и коммуникаций всех участников (и людей, и программ) моделируемых производственных или других процессов предметной области [Гаврилова и др., 2016].

Термин «онтология» тесно пересекается с термином «граф знаний», наполненная экземплярами онтология превращается в граф знаний (справедливо только для онтологий, не содержащих аксиом и правил). Однако в онтологии акцент делается на классах и их свойствах, а в графе знаний – на экземплярах.

Методы разработки онтологий начали развиваться в 90-х годах, в частности, возникли следующие методологии: Сус-метод (1990); метод Ушолда и Кинга (1995); методология TOVE Грюнингера и Фокса (1995); методология METHONTOLOGY (1997); методология On-To-Knowledge (2002) и др. Основные базовые шаги по разработке онтологий, которые встречались в большинстве онтологий, были сведены в упрощенную методику «для новичков» в работе Н. Ной и Д. МакГиннесс в 2001 году для системы PROTEGE [Noy et al., 2001]. В последнее время всё большую роль в методах проектирования и разработки начинает играть поддержка совместной работы [Simperl E. et al., 2014], которая заложена, например, в методологии



DOGMA-MESS и DILIGENT. Наиболее развитой и комплексной является методология NeOn ([www.neon-project.org](http://www.neon-project.org)), в которой интегрированы достижения предшествующих методологий [Suárez-Figueroa et al., 2012].

Поскольку в отличие от онтологий в графах знаний центральным элементом являются экземпляры, то наполнение ими онтологии является важной частью процесса разработки графов знаний [Villazon-Terrazas et al., 2017]. Наполнять онтологию можно в ручном или автоматизированном (автоматическом) режиме. Рассматриваемая в данном докладе методика ориентирована на ручной режим.

Фактически все описанные методологии являются избыточными, так как пытаются охватить все возможные варианты их использования (разные виды онтологий, разные условия и т.п.). Поэтому для поставленной задачи требуется создание прикладной методики, которая может быть применена в похожих условиях.

## 2. Методика ВИТОН

Методика ВИТОН (Визуальной коллективной разработки Онтологического графа знаний) ориентирована на решение задач описания сборочных единиц (СЕ) для сложного высокотехнологичного производства и связана с формированием графа знаний большой экстенсивности (тысячи СЕ, экземпляров онтологии). Особенность создаваемого графа знаний заключается в многообразии и сложной структуре свойств СЕ, при этом количество классов онтологии незначительное. Также одним из важных условий для разработки и применения методики являлась потребность в активном вовлечении экспертов в разработку, поскольку они и их коллеги являются будущими пользователями (внутренними клиентами) системы.

Задача разработки графа знаний была разбита на два этапа:

- этап пилотного проекта для формирования демо-графа (около 50 единиц);
- этап наполнения графа знаний сотрудниками предприятия.

В пилотном проекте участвовала команда проекта под руководством инженера по знаниям. Состав команды – 7 человек:

- группа аналитиков – разработчиков интеллект-карт (2 человека);
- группа разработчиков онтологии, создающих по картам графы знаний в RDF с помощью редакторов онтологий (2 человека);
- группа экспертов предметной области (2 человека);
- технический писатель-методист для описания внутренних процедур (1 человек).

## 2.1. Общая архитектура проекта (framework)

Ядром методики ВИТОН является визуальный подход к созданию графа знаний, позволяющий сконцентрироваться на понимании структуры, функциональности и поведения СЕ. В качестве языка описания выбраны интеллект-карты [Бьюзен, 2018].

Принципиально новым является 3-шаговая разработка графа знаний (см. рис. 1):

Шаг А. Создается визуальный обобщенный структурный макет онтологии в форме интеллект-карты и обсуждается с заказчиками.

Шаг Б. На базе макета аналитиками создаются интеллект-карты для всех СЕ (описание экземпляров онтологии), которые последовательно обсуждаются и дорабатываются с экспертами. Проходит наполнение онтологии (пока неформальное) одновременно с ревизией макета (при необходимости). Проверенные экспертами интеллект-карты поступают в группу разработчиков онтологии на формализацию.

Шаг В. В группе разработчиков онтологии интеллект-карты преобразуются в формализованный граф знаний на языке RDF с использованием редактора онтологий. В качестве промежуточного этапа может использоваться таблица с иерархией всех свойств, выявленных в интеллект-картах.

Процесс, безусловно, является итеративным.



Рис. 1. Трехшаговая разработка графа знаний

## 2.2. Создание макета онтологии

В рамках шага А можно выделить три фазы (см. рис. 2).



Рис. 2. Основные фазы и работы для шага А

В основу разработки макета онтологии в форме интеллект-карты были положены первичная структуризация заказчика, а также Core Product Model (CPM) [Fenves et al, 2008] и типовые домены информации об изделии, выделяемые в PLM системах [Rachuri et al, 2008].

Рис. 3 отображает текущую версию макета онтологии.

## 2.3. Работа групп участников команды

Работа аналитиков при описании СЕ (шаг Б) строится вокруг 7 документов, разбитых на три группы.

Входные документы: D1 – таблица со списком СЕ со ссылками на сайты и каталоги производителей; D2 – макет онтологии в формате интеллект-карты; Dд – дополнительные ссылки на внешние источники информации.

Промежуточные документы: D3 – таблица контроля версий и-карт с описанием текущего статуса, вопросами и комментариями; D4 – вики-описания и ссылки.

Выходные документы: D5 – готовые интеллект-карты СЕ; D6 – определения и правила; D7 – таблица иерархии свойств.

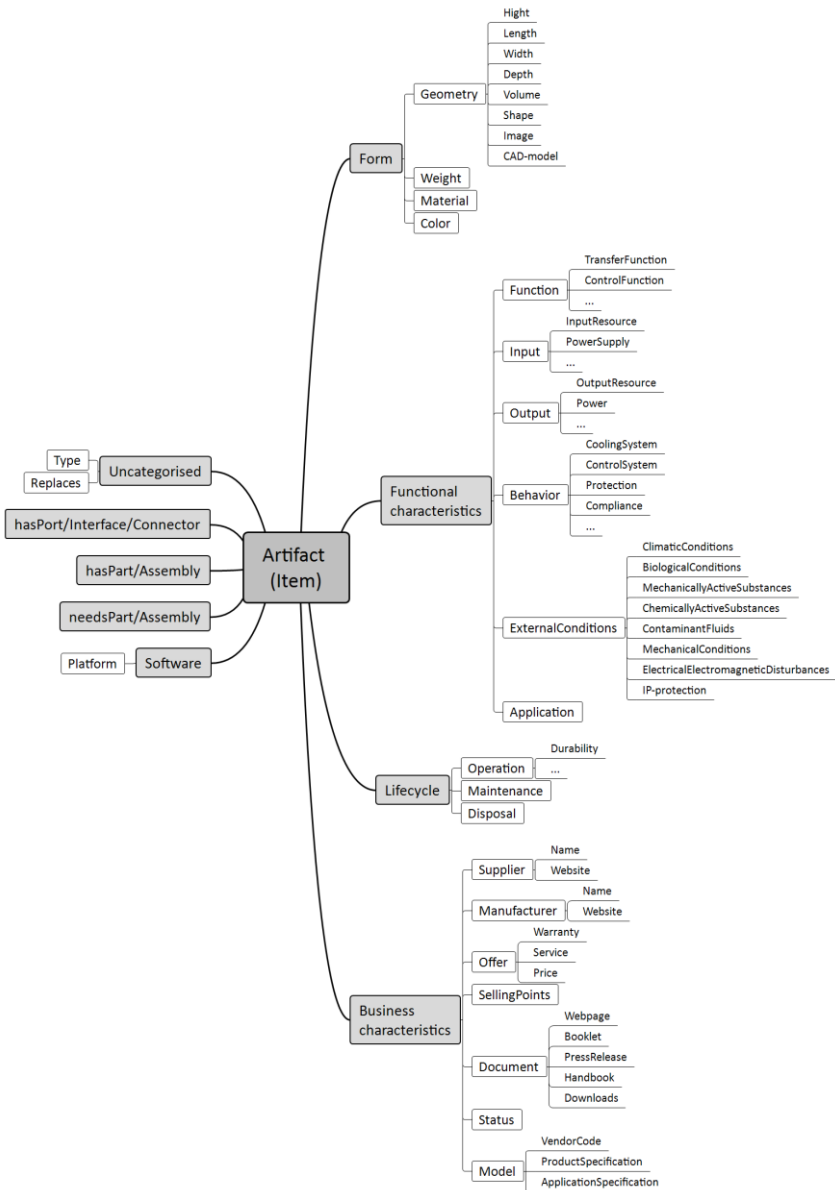


Рис. 3 Макет онтологии для описания сборочных единиц (CE)

Работа с группой экспертов в основном касалась содержательной трактовки отдельных свойств СЕ и принципиально делится на две части.

Во-первых, работа с заказчиком графа знаний – обсуждение структурно-концептуальных особенностей и уровня детализации на шаге А.

Во-вторых, работа с экспертами по сборочным единицам – проведение интервью на шаге Б, которое включало следующие вопросы:

- не забыты ли какие-то важные свойства;
- приоритеты свойств – какие более важны для описания деталей и какая функция ключевая;
- есть ли серьезные ошибки;
- насколько адекватна структура СЕ?

Разработчики онтологии совместно с аналитиками вели таблицу с иерархией свойств: уточняли формулировки и распределения свойств по группам, выявляли дубли и упорядочивали описания. Далее работа группы разработчиков онтологии была связана в основном с выбором шаблонов для формализации (ontology design patterns). Также трудоемкой задачей являлся ввод информации из таблицы свойств и интеллект-карт в редакторы онтологий.

## **Заключение**

В работе описывается новая методика ВИТОН по созданию промышленного графа знаний онтологического типа. Хотя методика пока апробирована на сборочных единицах автомобилей, она может широко применяться в других областях (например, создание интернет-магазинов, медицина, дизайн, менеджмент), где граф знаний имеет сложную структуру свойств, которые связаны с одним классом и его подклассами, а число классов онтологии невелико. Часто в таких задачах имеется необходимость в групповой разработке и обсуждении. Тогда визуальный макет позволяет быстрее и эффективнее достичь понимания в коллективе разработчиков. Одной из основных проблем является недостаток информации (или не всегда ясно, что же важно), поэтому появляется необходимость обсуждения некоторых аспектов описания объектов графа знаний с экспертами предметной области. Визуальное описание помогает сфокусировать внимание эксперта на спорных моментах и позволяет легче найти с ним общий язык. Предлагаемая методика помогла создать пилотный граф знаний, который включает более 50 экземпляров (сборочных единиц) и описывает около 400 типов свойств.

## Список литературы

- [Бьюзен, 2018] Бьюзен Т. Научите себя думать. – Минск: Попурри, 2018.
- [Гаврилова и др., 2016] Гаврилова Т., Кудрявцев Д., Муромцев Д. Инженерия знаний. Модели и методы. – СПб: Лань, 2016.
- [Fenves et al., 2008] Fenves S., Fougou S., Bock C. and Sriram R. CPM2: a core model for product data // Journal of computing and information science in engineering. 2008. No. 8(1).
- [Gomez-Perez et al., 2017] Gomez-Perez J., Pan J., Vetere G., Wu H. Enterprise Knowledge Graph: An Introduction // Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations. Springer International Publishing. 2017.
- [Noy et al., 2001] Noy N., McGuinness D. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880. 2001.
- [Rachuri et al., 2008] Rachuri S., Subrahmanian E., Bouras A., Fenves S. J., Fougou S., Sriram R.D. Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards // Computer-Aided Design. 2008. No. 40(7).
- [Simperl et al., 2014] Simperl E., Luczak-Rösch M. Collaborative ontology engineering: a survey // The Knowledge Engineering Review. 2014. No. 29(1).
- [Suárez-Figueroa et al., 2012] Suárez-Figueroa M.C., Gómez-Pérez A., Motta E. and Gangemi A. (Eds.). Ontology engineering in a networked world. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012.
- [Villazon-Terrazas et al., 2017] Villazon-Terrazas B., Garcia-Santa N., Ren Y., Srinivas K., Rodriguez-Muro M., Alexopoulos P., Pan J.Z. Construction of Enterprise Knowledge Graphs (I) // Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations. Springer, Cham. 2017.

УДК 004.8

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ, ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

Г.В. Рыбина (*galina@ailab.mephi.ru*)

Д.В. Демидов (*DVDemidov@mephi.ru*)

Е.С. Фонталина (*deav@inbox.ru*)

Национальный исследовательский  
университет «МИФИ», Москва

Рассмотрены проблемы приобретения, представления и обработки темпоральных знаний для автоматизированного построения баз знаний в динамических интегрированных экспертных системах, разработка которых осуществляется на основе задачно-ориентированной методологии и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

**Ключевые слова:** динамические интегрированные экспертные системы, задачно-ориентированная методология, темпоральные знания, комбинированный метод приобретения знаний

### Введение

В настоящее время в связи с расширением сферы применения динамических интеллектуальных систем, в частности, динамических интегрированных экспертных систем (ИЭС) [Рыбина, 2008], возросла важность автоматизации труда экспертов и инженеров по знаниям путем создания инструментальных средств поддержки трудоемких процессов построения баз знаний (БЗ) в динамических ИЭС. Особую актуальность получили исследования, связанные с автоматизированным получением, представлением и обработкой темпоральных знаний (т.е. знаний, использующих время как сущность) в рамках единого инструментария, интегрирующего возможности экспертных систем (формализмы представления и обработки знаний) с технологиями Text Mining (в контексте разработки методов и средств получения

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00457).

темпоральных знаний из ЕЯ-текстов), и технологиями Data Mining, ориентированными на получение темпоральных данных из БД.

Однако анализ современных инструментальных средств (ИС), используемых для поддержки построения БЗ в динамических интеллектуальных системах, показал, что даже такие мощные системы как G2 (Gensym Corp., USA) не обладают специальными средствами автоматизированного получения знаний из основных источников знаний (эксперты, ЕЯ-тексты, БД). Для решения проблем извлечения (выявления) темпоральных знаний из ЕЯ-текстов, в основном разрабатываются различные методы и средства, не ориентированные на построение темпоральных БЗ в динамических интеллектуальных системах (например, получение темпоральных знаний из временных рядов [Zaboleeva-Zotova et al., 2013], машинное обучение нейронных сетей [Pan, 2009] использование большого корпуса аннотированных с помощью языка TimeML проблемно-ориентированных текстов).

Также достаточно специализированными являются методы получения *темпоральных данных*, под которыми в соответствии с [Kaufmann et al., 2013] понимаются произвольные данные, явно или неявно связанные с определёнными датами или промежутками времени (БД и СУБД, хранящие темпоральные данные, учитывающие специфическую природу времени и изменчивость данных во времени, называются *темпоральными БД*). Классические СУБД также могут работать с темпоральными БД, однако разработчики должны сами обеспечивать обработку времени. Для приобретения темпоральных данных из БД наиболее часто используются такие методы Data Mining как метод скользящих окон [Wan et al., 2011] и специальные версии базовых алгоритмов Data Mining [Aggarwal et al., 2012], основанные на деревьях решений (CPD, темпоральный ID3, CART, Random Forest и др.).

Таким образом, несмотря на наличие в мировой практике значительного числа методов и средств приобретения темпоральных сущностей и зависимостей (в контексте технологий Text Mining и Data Mining), проблемы получения темпоральных знаний для построения темпоральных БЗ в динамических интеллектуальных системах, в частности в динамических ИЭС, практически не рассматриваются. Именно этим вопросам посвящен целый ряд исследований, связанных с новым этапом развития *задачно-ориентированной методологии* построения ИЭС и поддерживающего данную методологию инструментария типа Workbench – комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [Рыбина, 2008; Рыбина, 2015], обеспечивающего автоматизированную поддержку процессов прототипирования и сопровождения прикладных ИЭС на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ).

Опыт разработки динамических ИЭС, показал, что по целому ряду критериев (формализмы представления знаний, механизмы рассуждений, объ-



ектно-ориентированная технология и др.) средства текущей версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ не уступают лидеру зарубежных коммерческих ИС - системе G2 (Gensym Corp., USA), а по критерию, связанному с наличием встроенной подсистемы имитационного моделирования внешнего мира, значительно превосходят систему G2. Кроме того, комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ поддерживает оригинальный *комбинированный метод приобретения знаний* (КМПЗ) [Рыбина, 2008], развитие которого позволило автоматизировать в том числе процессы приобретения *недостовверных* и *темпоральных* знаний из различных источников знаний и их синергию со средствами моделирования внешнего мира, что существенно повышает эффективность разработки БЗ в ИЭС различной архитектурной типологии.

В фокусе внимания данной работы находятся вопросы, связанные с анализом результатов в области автоматизированного построения БЗ в динамических ИЭС на основе создания так называемой *темпоральной версии* КМПЗ [Рыбина и др, 2015; Rybina et all, 2017].

## **1. Представление и обработка темпоральных знаний: некоторые особенности**

Особенности реализованных в рамках задачно-ориентированной методологии базовых моделей представления знаний и методов вывода (универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ), детально описаны в [Рыбина, 2008; Рыбина, 2015], поэтому рассмотрим только темпоральные аспекты, связанные с обобщением базовой модели вывода для случая темпорального вывода, отметив при этом, что мощность базовой модели вывода, заключается в возможности учета наличия в БЗ *недостовверных знаний* (т.е. знаний, содержащих такие НЕ-факторы как неопределенность, неточность, нечеткость и недоопределенность частных знаний).

Обобщенная модель *темпорального* вывода на продукционных правилах для динамических ИЭС предусматривает обработку знаний, содержащих темпоральные зависимости, совместно с базовыми знаниями о проблемной области (ПрО), т.е. формально данная модель темпорального вывода представляется в виде [Рыбина и др., 2014]:  $I' = \langle V, S, R, W, D \rangle$ , где  $V$  – процесс выбора активных правил из БЗ, необходимых для решения задачи в очередном цикле работы интерпретатора, т.е. подмножество БЗ, правила из которого могут быть применены, если пройдут этап сопоставления;  $S$  – процесс сопоставления посылки активных правил с состоянием рабочей памяти, включающий построение интерпретации модели развития событий, сопоставление темпоральных и нетемпоральных частей правил, а также различные преобразования НЕ-факторов знаний (неопределенность, неточность, нечеткость), в том числе фаззификацию;  $R$  – процесс разрешения конфликтов, определяющий выбор применяемого на текущем шаге вывода

правила из списка успешно прошедших сопоставление; *W* – процесс выполнения следствия выбранного при сопоставлении правила с вычислением истинности следствия, учитывая НЕ-факторы; *D* – процесс дефаззификации фаззифицированных в ходе вывода значений параметров.

Здесь этап сопоставления дополняется процессами, обеспечивающими модификацию интерпретации *модели развития событий* и сопоставление *темпоральных частей* посылок активных правил. Вывод осуществляется независимо на каждом такте, причем общей частью является интерпретация модели развития событий, модифицирующаяся в рамках каждого такта. Кроме того, при интеграции механизмов базового (АТ-РЕШАТЕЛЬ) и темпорального выводов особое внимание уделялось: реализации операции *модификации* интерпретации развития событий и операции *сравнения* локальных моделей развития событий в правилах с глобальной интерпретацией модели развития событий для всех типов темпоральных высказываний.

Поскольку целями темпорального вывода являются построение интерпретации текущего развития событий в ПрО и генерация списка управляющих воздействий для ПрО (или модели ПрО), то для реализации темпорального вывода была выбрана модифицированная логика Аллена [Allen, 1983], и логика управления во времени [Осипов, 2008]. Модель развития событий задается совокупностью темпоральных объектов (событий и интервалов), локальная модель развития событий в правиле – формулами логики Аллена, а интерпретация модели – временами возникновения событий и временами начал и окончаний интервалов.

Для представления темпоральных знаний в динамических ИЭС был создан расширенный язык представления знаний (ЯПЗ) [Рыбина и др., 2014; Рыбина, 2015], позволяющий представлять темпоральные знания совместно с базовыми знаниями, для чего в базовый ЯПЗ были введены новые типы *объектов* (событие и интервал), *атрибутов* (логические выражения для условий возникновения) и *правил* (обычное, периодическое, реакция), а также изменена структура посылки правил (добавлены требования по локальной модели развития событий).

Управление во времени потребовало введения в расширенном ЯПЗ новых типов правил, для обеспечения быстрого реагирования на определенные (обычно экстренные) события ПрО («правила–реакции»), а также отслеживания определенных циклов в работе («периодические правила»). «Правила–реакции» в целом соответствуют модифицированной логике Аллена и представляют собой правила, содержащие в посылке условия из элементарных формул, являющихся одиночным темпоральным объектом (событием или интервалом). Для представления «периодических правил» был введен новый атрибут ТИП, принимающий одно из двух значений – «обыч-

ное» и «периодическое», причем посылки этих правил несут в себе дополнительное условие – период выполнения. Применение модифицированной логики Аллена позволило описывать темпоральные зависимости между объектами ПрО непосредственно внутри правил, а отслеживание проявлений таких зависимостей обеспечивает принятие решений с учетом текущего развития событий в ПрО.

В части разработки метода обработки темпоральных знаний, основные изменения были связаны с необходимостью на этапе сопоставления выполнять формирование интерпретации развития событий и обработку темпоральной части посылок продукционных правил. При формировании интерпретации развития событий происходит привязка событий и интервалов, определенных в ПрО, к временной оси путем идентификации фактов их возникновения на основании имеющихся в рабочей памяти данных и рассмотрения истории возникновения в прошлом. Обработка темпоральной части посылок продукционных правил опирается на результат интерпретации развития событий в ПрО. Для активных правил осуществляется решение задачи проверки соответствия локальных моделей развития событий, описанных с помощью модифицированной логики Аллена и логики управления во времени, с построенной интерпретацией.

Таким образом, обеспечивается синергия универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и темпорального решателя, что позволяет осуществлять поддержку решения задач как в статических, так и в динамических ПрО (особенности программной реализации АТ-РЕШАТЕЛЯ и темпорального решателя описаны в [Рыбина, 2008; Рыбина, 2015; Рыбина и др., 2014]).

## **2. Приобретение темпоральных знаний из различных источников знаний: некоторые особенности**

Опыт разработки *статических* ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии показал достаточно высокую эффективность базового КМПЗ [Рыбина, 2008], и средств его реализации, позволяющих в автоматизированном режиме осуществлять полный цикл построения и верификации БЗ путем прямого интервьюирования экспертов на ограниченном ЕЯ (подъязык деловой прозы) и приобретения знаний из БД, зарегистрированных в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Сегодня поддерживается распределенный вариант компьютерного приобретения знаний [Rybina et al., 2013], обеспечивающий в рамках клиент-серверной архитектуры интеграцию разных источников знаний (эксперты, ЕЯ-тексты, БД) с учетом их географической распределённости.

Ситуация с построением темпоральных БЗ в *динамических* ИЭС значительно сложнее, поскольку в инженерии знаний вопросы разработки мето-

дов и средств автоматизированного выявления темпоральных знаний из источников знаний различной типологии (эксперты, ЕЯ-тексты, темпоральные БД) остаются пока малоисследованными и рассматривается в основном в контексте автоматической обработки ЕЯ-текстов (например, [Ефименко, 2007]). Поэтому актуальной задачей является дальнейшее развитие базового КМПЗ и создание «темпоральной версии» КМПЗ путем разработки новых методов и средств автоматизированного построения темпоральных БЗ в динамических ИЭС.

В основе процессов прямого получения знаний от экспертов лежит организация *компьютерного интервьюирования* с использованием 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.). Соответственно, процессы получения знаний управляются с помощью наборов *моделей решения типовых задач*, для чего наработан и постоянно развивается ряд методов и алгоритмов, позволяющих создавать сценарии диалогов с экспертами, отражающих как *тематическую* структуру диалога (т.е. схему решения типовой задачи), так и локальную структуру диалога, т.е. набор конкретных «действий» и «реакций» между экспертом и системой с целью формирования фрагментов *поля знаний* (промежуточное представление структурированных знаний, используемое для верификации информации, полученной из различных источников), а затем соответствующих фрагментов БЗ.

В общем случае модель базового КМПЗ представляется в виде [Рыбина, 2008]:  $M = \langle N, S, F, K, Z \rangle$ , где  $N$  – неструктурированные описания ПрО (знания экспертов, документы в виде ЕЯ-текстов, зарегистрированные БД);  $S$  – структурированные описания ПрО в виде поля знаний, основными элементами которого являются *объекты* и *правила*;  $F$  – процедуры отображения  $N$  в  $S$ ;  $K$  – процедуры конвертации поля знаний в форматы ЯПЗ различных ИС для построения ИЭС (зарегистрированных в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ);  $Z$  – фрагменты полученных БЗ. Таким образом, 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 (распределенный КМПЗ) [Rybina et al., 2013].

В темпоральной версии КМПЗ с учетом всех «темпоральных» модификаций, введенных в расширенном ЯПЗ, процесс формирования объектов и правил поля знаний опирается на возможность введения таких сущностей ПрО как *события* и *темпоральные интервалы*, а также на добавление в

посылки правил связей между этими сущностями. Соответственно, при переходе от базового (локального) варианта приобретения знаний к темпоральной версии, множество процедур  $F$  было пополнено процедурами, связанными с получением описаний из распределенных источников, сопоставлением фрагментов поля знаний различных типов, в том числе темпоральных, объединением элементов поля знаний, уточнением описаний и др.) [Rybina et al., 2013].

На текущем этапе разработки темпоральной версии КМПЗ для создания методики выявления и интерпретации в рамках одного предложения простейших *темпоральных указателей* (т.е. самостоятельных слов и отдельных словосочетаний, обозначающих время) были использованы обобщенные классификации категорий темпоральных указателей в ЕЯ-текстах и расширенная база конкретных русскоязычных лексем, указывающих на темпоральные отношения [Ефименко, 2007].

Технологическая часть при создании темпоральной версии КМПЗ связана с расширением функциональности специализированного лингвистического процессора и средств поддержки интервьюирования экспертов путем модификации базовых и разработки новых методов и алгоритмов обработки темпоральной информации, содержащейся в ЕЯ-текстах подязыка деловой прозы, используемых в процессах прямого извлечения знаний из экспертов, что включает расширение языка описания сценариев диалога, используемого для описания локальной структуры диалога, и разработку новых экранных форм, а также словаря темпоральных лексем для подязыка деловой прозы (медицинская диагностика) и алгоритмов обработки темпоральной информации.

Функциональность средств поддержки темпоральной версии КМПЗ была также расширена за счет разработки алгоритмов приобретения знаний из *темпоральных БД*, в частности, был реализован и экспериментально исследован алгоритм Random Forest [Tzacheva et al., 2016], модифицированный для поддержки работы с темпоральными БД [Kaufmann et al., 2013]. Суть модификации заключалась в использовании многомерного пространства признаков, одним из которых является временная метка. Построение ансамбля деревьев решений производится в соответствии с базовым алгоритмом, однако, расчет значения критерия разбиения претерпел изменения, обусловленные использованием многомерного пространства признаков (критерием разбиения является среднее арифметическое вычисленных значений информационной энтропии, а процесс построения дерева осуществляется до тех пор, пока не будут обработаны все элементы подвыборки и без применения процедуры отсечения ветвей [Rybina et al., 2017]).

Для преобразования построенного ансамбля деревьев решений в форматы поля знаний используются сервисные объекты [Rybina et al., 2017]:

основной объект, содержащий в качестве атрибутов все пространство признаков; специальный объект – счетчик для отсчета времени с момента начала; специальный объект – счетчик голосов, для подсчета голосов деревьев. 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 счетчика голосов за класс, который соответствует данной вершине, увеличивается.

Важной проблемой после получения нескольких фрагментов поля знаний, содержащих темпоральную информацию из источников различной типологии (эксперты, БД), является необходимость сопоставления и объединения описанных в каждом фрагменте поля знаний объектов, их типов и правил. Здесь с учетом «темпоральной составляющей» использовались методы, алгоритмы и программные средства, разработанные для распределенного КМПЗ [Рыбина et al., 2013], которые доказали свою эффективность при разработке статических ИЭС. Вопросы верификации темпоральных знаний как важного этапа построения БЗ являются отдельной темой и здесь не рассматриваются.

## Заключение

В настоящее время создан прототип темпоральной версии КМПЗ, для которой программно поддерживается основной функционал, включая приобретение знаний из БД (на фрагментах темпоральных БД по сердечно-сосудистым заболеваниям). Экспериментальные исследования показали, что применение темпоральных БД в качестве дополнительных источников знаний, способно пополнить объем разрабатываемых БЗ на 12–25%.

## Список литературы

- [Ефименко, 2007] Ефименко И.В. Семантика времени: модели, методы и алгоритмы идентификации в системах автоматической обработки естественного языка // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Лингвистика», 2007, № 2.
- [Осипов, 2008] Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008, № 1.
- [Рыбина, 2008] Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. – М.: Научтехлитиздат, 2008.
- [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.
- [Рыбина и др., 2015] Рыбина Г.В., Данякин И.Д. Особенности приобретения темпоральных знаний в динамических интегрированных экспертных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2015, № 8.

- [**Рыбина, 2015**] Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. В 3-х кн. Кн. 2. Интеллектуальные диалоговые системы. Динамические интеллектуальные системы. – М.: Научтехлитиздат, 2015.
- [**Aggarwal et al., 2012**] Aggarwal C.C., Zhai C. Mining Text Data. Springer, 2012.
- [**Allen, 1983**] Allen J.F. Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the Association for Computing Machinery. 1983. Vol. 26.
- [**Kaufmann et al., 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.
- [**Pan, 2009**] Pan E. Learning Temporal Information from Text // Encyclopedia of Data Warehousing and Mining, Second Edition, Montclair State University, USA. 2009.
- [**Rybina et al., 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.
- [**Rybina et al., 2017**] Rybina G.V., Danyakin I.D. Combined Method of Automated Temporal Information Acquisition for Development of Knowledge Bases of Intelligent Systems // Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Engineering and Applications. London: IEEE. 2017.
- [**Tzacheva et al., 2016**] Tzacheva A.A., Bagavathi, A., Ganesan, P.D. MR – Random Forest Algorithm for Distributed Action Rules Discovery // International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP). 2016. Vol. 6. No. 5.
- [**Wan et al., 2011**] Wan Ishak, Wan Hussain and Ku-Mahamud, Ku Ruhana, Md Norwawi Norita. Mining temporal reservoir data using sliding window technique. CiiT International Journal of Data Mining and Knowledge Engineering. 2011. 3(8).
- [**Zaboleeva-Zotova et al., 2013**] Zaboleeva-Zotova A.V., Dmitriev A.S., Orlova Yu.A., Rozaliev V.L. Processing of Spatial and Temporal Information in the Text // World Applied Sciences Journal (WASJ). 2013. Vol. 24, Spec. Iss. 24: Information Technologies in Modern Industry, Education & Society.

## АНАЛИЗ ВИРТУАЛЬНОЙ КОЛЛАБОРАЦИИ В СООБЩЕСТВЕ VOINC.RU<sup>1</sup>

В.И. Тищенко (*vtichenko@mail.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

В статье проанализирована командная активность участников российского виртуального сообщества добровольных распределённых вычислений на платформе VOINC. Выделены предпочтения, определяющие поведение участников сообщества.

**Ключевые слова:** распределённые вычисления, VOINC, виртуальные сообщества, коллаборация

### Введение

Развитие новых форм социальных медиа способствовало преобразованию сетевых/виртуальных сообществ не просто в особый вид общения, но и в форму группового взаимодействия. Освоение не существовавших прежде технологических возможностей способствовало становлению новой профессиональной, сетевой модели. На смену прежним формам организации бизнеса в виде иерархических отношений приходит «открытость» горизонтальных сетей, которая находит свое выражение в концепции «социальной организации».

Основой модели «социальной организации» является сообщество, формирующееся в виртуальной среде для совместной коллективной деятельности, «коллаборативное сообщество» [Bradley et al., 2011]. Однако простое «сочетание» профессионального объединения людей с технологической медиаплатформой не превращает его в коллаборативное сообщество. Важнейшим фактором этого преобразования оказывается наличие метатецели коллективной деятельности сообщества, оформленной в результате проблематизации.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-29-12922, 16-29-12940).



Выявление факторов формирования феномена коллаборативного взаимодействия на конкретных примерах существующего компьютерного-опосредованного взаимодействия в виртуальной среде позволит обогатить эту абстрактную модель новым содержанием. В качестве такого примера (case study) было выбрано виртуальное сообщество участников распределенных вычислений BOINC.RU.

## **1. Анализ статистических характеристик виртуального сообщества BOINC.RU в проектах распределенных вычислений**

С развитием интернета получила практическое воплощение идея основателя проекта SETI@home David'a Gedye – использовать для масштабных вычислений интегрируемые ресурсы распределенных персональных компьютеров пользователей Интернета [Sullivan et al., 1997]. При этом интеграция вычислительных ресурсов компьютеров может обеспечиваться программной платформой BOINC<sup>2</sup>, разработанной в 2002 году в университете Беркли [Anderson, 2014].

Очевидно, что реализация проектов добровольных распределенных вычислений (ДРВ), BOINC-проектов<sup>3</sup>, напрямую зависит от количества и времени использования «подключенных» персональных компьютеров. В качестве одного из стимулов «участия» в проекте инициаторы/организаторы исследовательских проектов используют начисление условных очков («кредитов»). Статистика начисления этих показателей, публикуемая на сайте [www.boincstats.com](http://www.boincstats.com), создает атмосферу состязаний, как между участниками, так и между командами.

Однако у исследователей феномена ДРВ и организаторов BOINC-проектов нет однозначного ответа на вопрос – как значимый научный проект, требующий масштабных вычислений, может сформировать среду, которая будет стимулировать вклад ресурсов многими волонтерами? Более того, еще менее понятны организаторам проектов причины, по которым большинство участники проектов не покидают их на протяжении многих месяцев [Peter Darch et al., 2010].

По мнению исследователей BOINC-сообщества [Holohan et al., 2006; Nov et al., 2014; Якимец и др., 2016] основными причинами участия в проектах являются ощущение причастности к важным научным исследова-

---

<sup>2</sup> BOINC (англ. *Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*) – открытый программный комплекс, состоящий из серверной и клиентской частей (см. <https://ru.wikipedia.org/wiki/BOINC>).

<sup>3</sup> На начало апреля 2018 г. платформа BOINC используется для реализации 57 проектов; <https://www.boincstats.com>.

ниям, командный и спортивный дух. В то же время применение формализованных методов анализа поведения участников сообщества BOINC.RU показало [Tishchenko, 2017], что мотивы, побуждающие волонтеров «вкладывать» свое время, навыки, финансовые и технологические ресурсы в проекты, по-прежнему, остаются в значительной степени не раскрытыми. Выявленные различия в распределении волонтеров подчеркивают необходимость изучения процессов непосредственной коммуникации участников BOINC сообщества, которые не были удостоены внимания исследователей. Между тем, коллаборативное взаимодействие участников виртуального сообщества не может не оказывать влияния на их поведение и активность при выборе проектов [Прочко и др., 2017].

Особенностью BOINC-проектов является реальность не только технологической (программной) интеграции вычислительных мощностей ПК, но и компьютерно-опосредованная интеграция коммуникаций волонтеров, существующая в виде виртуальных групп и форумов на специализированных сайтах или в социальных сетях. Организационной формой интеграции волонтеров, участвующих в проектах ДРВ, являются команды, формируемые в соответствии с принципами национальной (страновой) общности, тематическими или иными предпочтениями. По состоянию на начало апреля 2018 года зарегистрировано 4 574 647 участников BOINC-проектов из 277 стран, которые объединены в 107 227 команд<sup>4</sup>. Российских участников BOINC-проектов зарегистрировано более 53 000, объединенных в 821 команду<sup>5</sup>.

Из 57 активных исследовательских вычислительных проектов, использующих платформу BOINC, 11 – инициировано исследователями из российских научных центров<sup>6</sup>.

Для анализа коммуникативных взаимодействий участников сообщества BOINC.RU в данном исследовании была сформирована база данных, включающая статистические характеристики активности как отдельных волонтеров, так и их объединений (команд). Данные были собраны по всем проектам, включая архивные. Это позволило рассчитать показатели, характеризующие закономерности участия российских пользователей в проектах и командах BOINC.

---

<sup>4</sup> См BOINC-статистику <https://boincstats.com/ru/stats/-1/project/detail/team>.

<sup>5</sup> См. перечень российских команд <https://boincstats.com/en/stats/-1/team/list/0/0/25>.

<sup>6</sup> Перечень российских BOINC-проектов Gerasim@home; SAT@home; Acoustics@home; Amicable Numbers; Stop@home; OPTIMA@HOME; NetMax@home; USPEX@home; ODLK@home; AndersonAttack; XANSONS for COD. См. форум российских BOINC-проектов распределенных вычислений. – <http://forum.boinc.ru/default.aspx?g=topics&f=108>.

Полученные ранее результаты [Тищенко и др., 2015] позволяют отметить снижение активности участников российского виртуального сообщества VOINC.RU в проектах ДРВ. По «общественному» рейтингу Россия переместилась с 11 места в 2014 году на 51 – в 2017 году. Аналогичная тенденция отмечена и по доле «российских» очков (кредитов) в общем количестве очков, полученном всем VOINC сообществом; с 2,5% в 2014 году до 0,4% - 2017 году. И это в то время как оценка общей активности всех волонтеров выросла в 17 раз, превысив 34 триллиона очков. Снижение активности участников сообщества VOINC.RU наблюдается при увеличении общего числа российских волонтеров с 45 333 в 2014 году до 53 343 в 2017 году, а также количества проектов, в которых они принимают участие с 135 в 2014 до 178 в 2017 году.

Значительные изменения в статистических характеристиках активности российских участников VOINC-проектов, по нашему мнению, вызваны «расслоением» сообщества волонтеров на активных и «пассивных» участников. В 2017 году группа наиболее активных волонтеров, каждый из которых набирает более 100 млн. очков, возросла в 2,5 раза. В то время как остальные волонтеры (практически все 53 тыс.) суммарно набирают не более 20 млн.

## **2. Анализ коммуникативного взаимодействия участников виртуального сообщества VOINC.RU**

Исходя из целей исследования, мы проанализировали связи внутри групп волонтеров. Связью (коммуникацией) будем называть одновременное участие двух волонтеров в каком-либо проекте<sup>7</sup>.

Учитывая выявленное «расслоение» на страты сообщества VOINC.RU, а также результаты исследований виртуальных объединений разработчиков программного обеспечения с открытым кодом [Weber, 2004], мы будем рассматривать только активных волонтеров. Выбрав в качестве порога оценки активности 50 000 и более начисленных очков, выделим сообщество в 200 волонтеров, для которых получилось 2 176 участия в проектах. Построив таблицу связности, где  $a_{ij}$  – количество общих проектов для двух волонтеров, мы получим полный граф<sup>8</sup> (рис. 1).

Все активные пользователи связаны (участвуют) какими-то проектами.

---

<sup>7</sup> Проект SETI@HOME не рассматривался, так как в нем участвовало 24 тыс. российских волонтеров из 53 000, что дает практически 100% связь для активных участников.

<sup>8</sup> Для визуализации и анализа графов используем программу Gephi и алгоритм Force Atlas 2.

Увеличение порога участия в проекте до 100 тыс. очков, а затем до 1 млн. очков практически не меняет картину участия 200 наиболее активных волонтеров (см. рис. 2). Об этом свидетельствует визуальная схожесть графов, построенных для групп волонтеров, образованных при различных порогох начисления очков.

Мы предполагаем, что эта «похожесть» в поведении наиболее активных участников обусловлена тем, что они не склонны «подключаться» к проектам «наобум»; они подходят к выбору проекта основательно и затем активно участвуют в вычислениях.

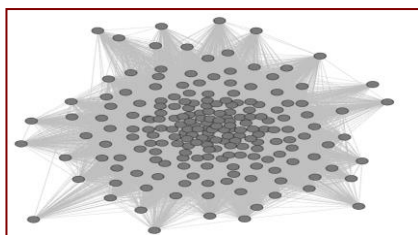


Рис. 1. Граф связности участников ДРВ

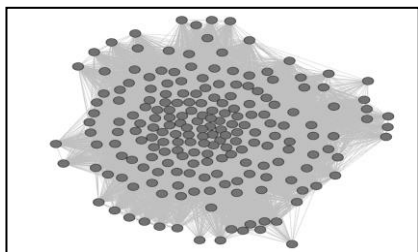


Рис. 2. Граф связности участников ДРВ для участников сообщества с количеством очков >1 млн

Если исключить «старые» проекты – Gerasim@home (557 участков) и SAT@home (1 528 участков), которые, на наш взгляд, и определяют представленные ранее показатели, получим 230 связей на 150 человек и, соответственно, мы получили связный граф участников в российских проектах ДРВ (см. рис. 3).

Всё множество волонтеров «разбилось» на графе на два крупных кластера, кластер 1 и кластер «2 + 3 + 4». Последний, в свою очередь, поделился на два кластера: подмножество «3 + 2» и, соответственно, «3 + 4». Кластер 3 представляет «пересечение» кластеров 1 и «2 + 3 + 4», если рассматривать граф как визуализацию множества волонтеров.

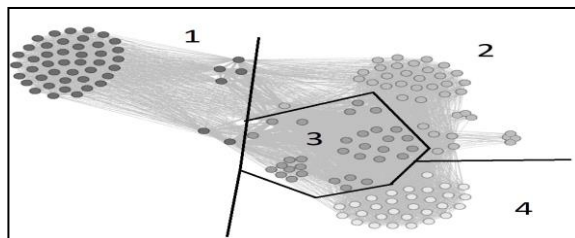


Рис. 3. Граф связности пользователей ДРВ (кластером под номером 3 выделено коллаборативное сообщество)

Если проанализировать статистику участия волонтеров в российских проектах, то, в зависимости от «попадания» в тот или иной кластер, можно предположить, что их предпочтения и действия являются достаточно согласованными.

Табл. 1.

Проекты	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4
Acoustics@home	4	32	18	
Amicable Numbers	2	6	19	27
AndersonAttack		5	11	1
XANSONS for COD		1	10	
OPTIMA@HOME	49	1	3	
Stop@home	1		30	
ODLK			6	

Так, нам удалось выделить группу волонтеров, которая активно участвует в нескольких проектах (кластер 3 на графе). Попадание волонтеров в эту группу показывает, что это не только активные, но и заинтересованные участники сообщества, которые следят за системой BOINC, получают информацию и согласованно отдают предпочтение новым проектам. Такое поведение участников сообщества свидетельствует о взаимодействии их друг с другом на сторонних сетевых ресурсах.

### 3. Особенности командного поведения участников виртуального сообщества BOINC.RU

Для анализа командного поведения участников виртуального сообщества BOINC.RU, согласованности поведения волонтеров при выборе проектов была выбрана в качестве объекта исследования команда «Russia Team»<sup>9</sup>. В команде состоит 2 300 участников, каждому из которых начислено не менее 1000 очков.

Анализ распределения волонтеров по проектам и значения оценок (в кредитах) их активности показал, что наиболее значимые показатели выпадают на 5 проектов, причем в 3 из них (SETI@Home; Einstein@Home; Rosetta@Home) участвует большинство волонтеров команды: 883; 754; 623, соответственно. Другими словами, от 30 до 25 процентов членов команды. Особенно это заметно, если рассмотреть 1000 лучших (активных) членов команды (у них более 100 000 очков) [Тищенко и др., 2017].

Количество участников в предпочтительных проектах изменяется не значительно, но даже там, где оно изменилось – практически не меняется количество очков, отражающее оценку активности волонтеров. В итоге мы обнаруживаем, что действия и выбор проектов активными членами команды являются согласованными. И этот выбор, очевидно, есть результат коммуникаций значительно числа, не менее четверти всех членов команды. И важно, что это наиболее активные участники BOINC-проектов.

В качестве еще одного заключения, можно утверждать, что менее активные члены команды (участники с небольшим количеством очков) предпочитают ориентироваться на выбор активного «ядра» команды и «подключаются» просто к самым популярным проектам.

Выявленные статистические показатели принципиально отличаются от таковых для всего сообщества BOINC.RU. Как следует из результатов анализа статистики по всем российским волонтерам [Тищенко, и др., 2017], в сообществе в целом отсутствует сохраняемое предпочтение в выборе проектов. Так, например, в 2017 году ни один из 20 популярных проектов 2014 года не вошел в перечень популярных проектов. Более того, в числе проектов, которые «исчезли» в 2017 году из перечня популярных проектов для BOINC.RU из-за снижения активности участия российских волонтеров, оказались такие научно-значимые и популярные в среде всего BOINC-сообщества проекты, как Einstein@Home (проверка гипотезы о гравитационных волнах); Rosetta@Home (определение 3-хмерной структуры белков);

---

<sup>9</sup> Команда “Russia Team” образовалась в июне 2005 года и в настоящее время является одной из крупнейших команд в Российской Федерации; см. [http://www.boinc.ru/team/russia\\_team\\_new.htm](http://www.boinc.ru/team/russia_team_new.htm).

MilkyWay@home (создание высокоточной трёхмерной динамической модели звёздных потоков в нашей Галактике). Это именно те проекты, предпочтению в выборе которых сохранялось неизменным для большинства участников команды Russia Team.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что важным фактором участия в команде для большинства участников оказывается склонность, готовность к совместному поведению, проявляющемся в выборе проектов, к которым они «подключаются».

Это вывод свидетельствует о значимости команд и командного поведения виртуального сообщества VOINC.RU и, соответственно, согласованности при выборе проектов ДРВ для формирования среды, которая будет стимулировать вклад ресурсов многими волонтерами в реализацию VOINC-проектов. Готовность и желание осуществлять согласованную деятельность ради достижения научных результатов и командных побед – немало-важный фактор для «подключения» волонтеров к реализации проектов.

### **Заключение**

Данные, полученные в результате анализа особенностей поведения участников виртуального сообщества VOINC.RU, показывают, что участие пользователей в российских проектах и их действия являются достаточно согласованными. При построении связного графа нам удалось выделить группу пользователей, которая согласовано и активно участвует в нескольких проектах. Анализ характеристик построенного графа позволяет предположить, что, активные заинтересованные участники получают информацию о новых проектах и следят за системой VOINC. Можно предположить, что они взаимодействуют друг с другом на сторонних сетевых ресурсах. Все это дает основание рассмотреть сообщество VOINC.RU как структурированное коллаборативное сообщество, и коллективная деятельность его участников определяет не только их поведение, но является значимым фактором реализации VOINC-проектов.

### **Список литературы**

- [Прочко и др., 2017] Прочко А.Л., Тищенко В.И. Особенности виртуальных сообществ финансовой тематики на основе анализа обсуждения торгов акциями компаний // Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2017) – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017.
- [Тищенко и др., 2015] Тищенко В.И., Прочко А.Л. Российские участники добровольных распределенных вычислений на платформе Voinc. Статистика участия // Компьютерные исследования и моделирование. – Ижевск: АНО ИИКИ, 2015, Т. 7, № 3.
- [Тищенко и др., 2017] Тищенко В.И., Прочко А.Л. Виртуальное сообщество российских участников добровольных распределенных вычислений на платформе

- BOINC // Сборник презентаций и статей докладов НСКФ'2017. – <http://2017.nscf.ru/prezentacii>.
- [**Якимец и др., 2016**] Якимец В.Н., Курочкин И.И. Рейтинг проектов добровольных распределенных вычислений // VII Международная конференция «Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании» (GRID 2016), Дубна: ОИЯИ, 2016.
- [**Anderson, 2014**] David P. Anderson A. Brief History of BOINC, talk at the 10th BOINC Workshop, 29 Sept 2014, Budapest. –[http://boinc.berkeley.edu/talks/workshop\\_14.pdf](http://boinc.berkeley.edu/talks/workshop_14.pdf).
- [**Holohan et al., 2006**] Holohan A., Garg A. Collaboration Online: The Example of Distributed Computing // Journal of Computer-Mediated Communication. 2006. Vol. 10. Iss. 4. – [https://www.altmetric.com/details.php?domain=onlinelibrary.wiley.com & doi=10.1111/j.1083-6101.2005.tb00279.x](https://www.altmetric.com/details.php?domain=onlinelibrary.wiley.com&doi=10.1111/j.1083-6101.2005.tb00279.x).
- [**Nov et al., 2014**] Nov O., Arazy O., Anderson D. Scientists@Home: What Drives the Quantity and Quality of Online Citizen Science Participation? // PLOS One. 2014. Vol. 9. Iss. 4. – <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0090375>.
- [**Sullivan et al., 1997**] Sullivan W.T., Washington U., Werthimer D., Bowyer S., Cobb J., Gedye D., Anderson D. A new major SETI project based on Project Serendip data and 100,000 personal computers // Astronomical and Biochemical Origins and the Search for Life in the Universe // Proc. of the Fifth Intl. Conf. on Bioastronomy // Bologna: Editrice Compositori, 1997. – [http://seticlassic.ssl.berkeley.edu/woody\\_paper.html](http://seticlassic.ssl.berkeley.edu/woody_paper.html).
- [**Tishchenko, 2017**] Tishchenko V.I. Behavioral patterns of volunteer computing communities // BOINC-FAST 2017: International Conference BOINC: FAST 2017. Proc. of the Third International Conference BOINC-based High Performance Computing: Fundamental Research and Development (BOINC: FAST 2017) Petrozavodsk, Russia, August 28 – September 01, 2017 // CEUR Workshop Proceedings Vol-1973, 2017. – <https://ceur-ws.org>.
- [**Weber S., 2004**] Weber S. The Success of Open Source. Cambridge: Harvard University Press. 2004.



## ПОДХОД К ТРАНСЛЯЦИИ RDF/OWL-ОНТОЛОГИИ В ГРАФОВУЮ БАЗУ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

А.А. Филиппов (*al.filippov@ulstu.ru*)  
В.С. Мошкин (*postforvadim@ya.ru*)  
А.М. Наместников (*am.namestnikov@gmail.com*)  
Г.Ю. Гуськов (*guskovgleb@gmail.com*)  
М.Н. Самохвалов (*sam@ulstu.ru*)  
Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В работе представлена модель графовой базы знаний хранилища онтологии, а также предлагается оригинальный алгоритм трансляции RDF/OWL-онтологии в графовую базу знаний. Помимо этого, в статье представлен подход к логическому выводу знаний по содержанию хранилища онтологий с помощью трансляции конструкций SWRL в элементы языка *Surfer*. В статье приводятся примеры использования предложенных алгоритмов и моделей, а также делается вывод о дальнейшем развитии подобной технологии.

**Ключевые слова:** онтология, графовая база знаний, логический вывод, SWRL, OWL

### Введение

Современное постиндустриальное общество оперирует огромными массами 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].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерством образования и науки России в рамках проекта № 2.4760.2017 / 8.9, а также РФФИ (проекты №№ 18-37-00450, 18-47-730035).

Для решения данной проблемы применяются разнообразные интеллектуальные программные средства автоматизации деятельности человека. Однако для эффективной работы таких средств необходима их адаптация к особенностям конкретной проблемной области (ПрО). Для описания особенностей ПрО обычно используются онтологии [Вагин и др., 2008; Гаврилова, 2003; Загорулько, 2007; Карабач, 2014; Смирнов, 2012; Тузовский, 2007; Филиппов и др., 2016]. Онтология – модель ПрО, представленная в виде семантической паутины (графа) [Мошкин и др., 2015а; Тарасов и др., 2012].

В настоящее время в качестве языков представления онтологий используются языки RDF и OWL [RDF; OWL], при этом язык OWL является более выразительным, так как содержит различные виды функциональных отношений.

Для работы с онтологиями в процессе функционирования интеллектуальных систем часто применяется библиотека OWL API [OWL API]. На данный момент OWL API обладает наибольшими функциональными возможностями [Owlcpp], но может быть использована только в программах, написанных для платформы JVM (Java Virtual Machine).

Для формирования запросов к содержимому онтологий, представленных в формате RDF, обычно применяется язык запросов SPARQL [SPARQL], а для онтологий в формате OWL используются машины логического вывода, например, Pellet [Pellet], Fact++ [Fact++], Hermit [Hermit].

Таким образом, не существует универсального метода работы с онтологиями и формирования запросов к их содержимому. В качестве решения данной проблемы можно предложить использование специализированных хранилищ, например, StarDog [StarDog], Virtuoso [Virtuoso], RDF4j [RDF4j]. Однако существующие хранилища онтологий обладают следующими недостатками:

- необходимость покупки лицензии для использования;
- требуют от разработчика от разработчика знаний в области онтологического проектирования и инженерии знаний;
- полная поддержка только формата RDF.

Нашей научной группой была предпринята попытка разработки хранилища онтологий, позволяющего:

- проводить импорт онтологий в форматах RDF и OWL;
- формировать запросы к содержимому хранилища;
- не требовать от разработчика знаний в области онтологического проектирования и инженерии знаний;
- организовать взаимодействие с хранилищем онтологий с помощью протокола HTTP, сделав хранилище максимально независимым от используемого языка программирования и операционной системы.

## 1. Модель графовой базы знаний хранилища онтологий

В качестве основы хранилища онтологий используется графо-ориентированная система управления базами данных (ГСУБД) Neo4j [Neo4j]. На момент конца 2017 года Neo4j – наиболее используемая ГСУБД, а также занимает первое место в рейтинге ГСУБД [Turu Pi et. al., 2017].

Графовая структура была выбрана для представления содержимого нашего хранилища онтологий, так как онтология фактически является графом, а графо-ориентированный язык запросов Cypher позволяет быстро и гибко получать необходимые данные. При этом необходимо лишь ограничить набор узлов и отношений графа в которые будет транслироваться импортируемые онтологии в формате RDF и OWL.

Контекст онтологии – состояние онтологии, полученное в процессе версионирования. Контекст может представлять собой отдельную ПрО.

Формально модель графовой база знаний (ГБЗ) нашего хранилища можно представить в виде следующего выражения:

$$O = \langle T, C^T, I^T, P^T, S^T, F^T, R^T \rangle, i = \overline{1, t}, \quad (1.1)$$

где  $t$  – количество контекстов ГБЗ;  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_t\}$  – множество контекстов ГБЗ;  $C^T = \{C_1^T, C_2^T, \dots, C_n^T\}$  – множество классов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $I^T = \{I_1^T, I_2^T, \dots, I_n^T\}$  – множество объектов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $P^T = \{P_1^T, P_2^T, \dots, P_n^T\}$  – множество свойств классов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $S^T = \{S_1^T, S_2^T, \dots, S_n^T\}$  – множество состояний объектов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $F^T = \{F_1^T, F_2^T, \dots, F_n^T\}$  – множество состояний объектов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $R^T$  – множество отношений ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста вида:

$$R^T = \{R_C^T, R_I^T, R_P^T, R_S^T, R_F^T\} \quad (1.2)$$

где  $R_C^T$  – множество отношений, формирующих иерархию классов ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $R_I^T$  – множество отношений, определяющих связь вида «класс-объект» ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $R_P^T$  – множество отношений, определяющих связь вида «класс-свойство» ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $R_S^T$  – множество отношений, определяющих связь вида «объект-состояние» ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста;  $R_F^T$  – множество отношений, сгенерированных на основе логических правил ГБЗ в рамках  $i$ -го контекста.

При этом некоторые отношения ГБЗ ( $R_C^{T_i}$  и  $R_I^{T_i}$ ) могут представлять функциональные отношения, характерные для языка OWL.

## 2. Трансляция RDF/OWL-онтологий в графовую базу знаний

Для успешной трансляции онтологии, представленной на языках RDF и OWL, в содержимое ГБЗ необходимо выделить структурные элементы, которые будут отнесены к TBox (структура, схема) и ABox (наполнение, содержимое) ГБЗ соответственно.

Функции трансляции RDF/OWL-онтологий в ГБЗ можно представить следующими выражениями:

$$f_o^{RDF} : RDF \rightarrow O, \quad f_o^{OWL} : OWL \rightarrow O,$$

где  $RDF = \langle C^{RDF}, I^{RDF}, P^{RDF}, S^{RDF}, R^{RDF} \rangle$  – множество сущностей онтологии в формате RDF;  $OWL = \langle C^{OWL}, I^{OWL}, P^{OWL}, S^{OWL}, R^{OWL} \rangle$  – множество сущностей онтологии в формате OWL;  $O$  – множество сущностей онтологии ГБЗ. В табл. 1 представлено соответствие сущностей RDF/OWL-онтологии сущностям ГБЗ.

Табл. 1.

RDF	OWL	ГБЗ
TBox		
rdfs:Resource	owl:Thing	$C^{T_i} = \{C_1^{T_i}, C_2^{T_i}, \dots, C_n^{T_i}\}$
rdfs:Class	owl:Class	$C^{T_i} = \{C_1^{T_i}, C_2^{T_i}, \dots, C_n^{T_i}\}$
rdfs:subClassOf	owl:SubclassOf	$R_C^{T_i}$
rdf:Property	owl:ObjectProperty owl:DataProperty	$P^{T_i} = \{P_1^{T_i}, P_2^{T_i}, \dots, P_n^{T_i}\}$
rdfs:domain	owl:ObjectPropertyDomain owl:DataPropertyDomain	$R_P^{T_i}$
rdfs:range	owl:ObjectPropertyRange owl:DataPropertyRange	$R_P^{T_i}$
ABox		
rdf:type rdf:ID	owl:NamedIndividual	$I^{T_i} = \{I_1^{T_i}, I_2^{T_i}, \dots, I_n^{T_i}\}$
	owl:ClassAssertion	$R_I^{T_i}$
rdf:resource rdf:ID	owl:ObjectPropertyAssertion owl:DataPropertyAssertion	$S^{T_i} = \{S_1^{T_i}, S_2^{T_i}, \dots, S_n^{T_i}\}$
		$R_S^{T_i}$

Как видно из табл. 1, основным сущностям онтологий в формате RDF и OWL соответствуют сущности онтологии ГБЗ. Сущности ГБЗ позволяют унифицировать различные форматы представления онтологий и сформировать модель данных, опираясь на которую, разработчик может формировать запросы к содержимому хранилища онтологий на языке запросов Cypher. Данный метод извлечения знаний из хранилища онтологий является более привычным для разработчика, чем работа с машинами логического вывода. Однако при этом возможность логического вывода по содержимому нашего хранилища онтологий присутствует.

### 3. Логический вывод по содержимому хранилища онтологий

Логический вывод – процесс рассуждений от предпосылок к заключению. Для осуществления функции логического вывода используется специализированный класс программных средств – машины логического вывода (ризонеры, reasoners). Ризонеры выполняют следующие функции [Махортов, 2016; Мошкин и др., 2015b].

- проверка – внутренняя проверка согласованности базы знаний;
- анализ – объяснение мыслителем знания, подразумеваемого в базе знаний;
- вывод – вывод новых знаний по содержимому базы знаний.

Графо-ориентированная СУБД Neo4j не предполагает возможности использования существующих ризонеров. Таким образом, возникает необходимость в разработке механизма логического вывода по содержимому нашего хранилища онтологий. Первые две функции ризонеров реализуются с применением языка запросов Cypher.

Формально логическое правило ГБЗ (выражение 1.1) может быть представлено в следующем виде:

$$F^{T_i} = \langle A^{Tree}, A^{SWRL}, A^{Cypher} \rangle,$$

где  $T_i$  –  $i$ -й контекст ГБЗ;  $A^{Tree}$  – древовидное представление логического правила  $F^{T_i}$ ;  $A^{SWRL}$  – SWRL-представление логического правила  $F^{T_i}$ ;  $A^{Cypher}$  – Cypher представление логического правила  $F^{T_i}$ .

Древовидное представление  $A^{Tree}$  логического правила  $F^{T_i}$  имеет вид:

$$A^{Tree} = \langle Ant, Cons \rangle,$$

где  $Ant = Ant_1 \Theta Ant_2 \Theta \dots Ant_n$  – антецедент (условие) логического правила  $F^{T_i}$ ;  $\Theta \in \{AND, OR\}$  – множество допустимых логических операций между атомами антецедента;  $Cons$  – консеквент (следствие) логического правила  $F^{T_i}$ .

На рис. 1 представлен иллюстративный пример древовидного представления логического правила, описывающего родственные связи вида «отец–ребенок».

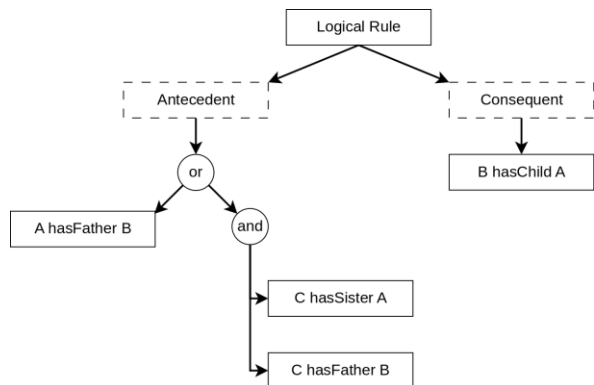


Рис. 1. Пример древовидного представления логического правила

Древовидное представление логического правила, изображенное на рис. 1, транслируется в следующее SWRL (Semantic Web Rule Language – язык описания логических правил) [SWRL] представление, состоящее из двух правил на языке SWRL:

- 1)  $hasFather(?a,?b) \Rightarrow hasChild(?b,?a);$
- 2)  $hasSister(?c,?a) \ \& \ hasFather(?c,?b) \Rightarrow hasChild(?b,?a),$

и следующее Cypher представление, состоящее из двух запросов на языке Cypher:

- 1) `MATCH (s1:Statement{name: "hasChild", lr: true})`  
`MATCH (r1a)-[:Domain]-(:Statement{name:"hasFather"})-[:Range]->(r1b)`  
`MERGE (r1b)-[:Domain]->(s1)`  
`MERGE (r1a)-[:Range]->(s1);`
- 2) `MATCH (s1:Statement{name: "hasChild", lr: true})`  
`MATCH (r2c)-[:Domain]-(:Statement{name:"hasSister"})-[:Range]->(r2a)`  
`MATCH (r2c)-[:Domain]-(:Statement{name:"hasFather"})-[:Range]->(r2b)`  
`MERGE (r2b)-[:Domain]->(s1)`  
`MERGE (r2a)-[:Range]->(s1).`

Таким образом, при импорте в хранилище онтологий логических правил на языке SWRL, данные правила транслируются в их древовидное представ-

ление. Наличие древовидного представления логического правила позволяет формировать на его основе *Сурpher* представление. При использовании *Сурpher* представления логического правила  $F^{T_i}$  между сущностями ГБЗ (выражение 1.1), удовлетворяющими атомам antecedента логического правила, формируются отношения специального типа –  $R_F^{T_i}$ . Сформированные подобным образом отношения позволяют организовать логический вывод по содержимому хранилища онтологий.

Для контроля логической целостности содержимого нашего хранилища онтологий на основе *ТВох* формируется множество *Сурpher* запросов, инвертирующих аксиомы *ТВох*. Если один из таких запросов вернул результат, следовательно, логическая целостность нарушена.

### **Заключение**

В статье рассмотрен подход к трансляции RDF/OWL-онтологии в ГБЗ. Разработанное хранилище онтологий, основанное на ГБЗ, позволяет разработчику взаимодействовать с содержимым такого хранилища наиболее привычным для него путем – формировать запросы к содержимому ГБЗ.

При этом унифицированная модель данных ГБЗ, позволяет импортировать онтологии в форматах RDF и OWL. Данные форматы часто используются при формировании описания особенностей *Про* в виде онтологии. *ТВох* ГБЗ определяет доступные для формирования ГБЗ аксиомы, а также позволяет контролировать логическую целостность содержимого ГБЗ.

Встроенный в наше хранилище онтологий механизм логического вывода позволяет импортировать SWRL правила, и формировать на их основе древовидное представление таких правил. Древовидное представление позволяет сформировать множество логических правил ГБЗ, которые могут быть использованы для вывода новых фактов и аксиом на основе содержимого ГБЗ.

Таким образом, при разработке интеллектуальных систем, в качестве базы знаний которых используется наше хранилище онтологий, разработчику понадобится меньше времени на изучение способов и средств работы с онтологиями, а сэкономленное время будет использовано на разработку бизнес-логики.

## 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.
- [Загорулько, 2007] Загорулько Ю.А. Построение порталов научных знаний на основе онтологии // Вычислительные технологии, 2007, Т. 12, № 2.
- [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. XV Нац. конф. по ИИ с междунар. участием КИИ-2016. Смоленск, 2016, Т. 1.
- [Мошкин и др., 2015а] Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Методики построения нечетких онтологий сложных предметных областей // Матер. V Междунар. научн.-техн. конф. OSTIS-2015. Минск, 2015.
- [Мошкин и др., 2015б] Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г. Логический вывод на основе нечетких онтологий // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х т. Т1. – М.: Физматлит, 2015.
- [Смирнов, 2012] Смирнов С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования, 2012, № 2.
- [Тарасов и др., 2012] Тарасов В.Б., Калуцкая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Матер. II Междунар. научн.-техн. конф. OSTIS-2012. – Минск, 2012.
- [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, 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).
- [FaCT++] FaCT++. – <http://owl.man.ac.uk/factplusplus>.
- [HermiT] HermiT OWL Reasoner. The New Kid on the OWL Block. – <http://www.hermiT-reasoner.com>.



- [**Neo4j**] Introducing the Neo4j Graph Platform. – <https://neo4j.com>.
- [**OWL**] OWL Web Ontology Language Overview. – <https://www.w3.org/TR/owl-features>.
- [**OWL API**] The OWL API. – <http://owlcs.github.io/owlapi>.
- [**Owlcpp**] Owlcpp: a C++ library for working with OWL ontologies. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4574266>.
- [**Pellet**] Pellet. – <http://pellet.owldl.com>.
- [**RDF**] Resource Description Framework (RDF). – <https://www.w3.org/RDF>.
- [**RDF4J**] Eclipse RDF4J. – <http://rdf4j.org>.
- [**SPARQL**] SPARQL Query Language for RDF. – <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query>.
- [**StarDog**] The Knowledge Graph Platform for the Enterprise. – <https://www.stardog.com>.
- [**SWRL**] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. – <https://www.w3.org/Submission/SWRL>.
- [**Turu Pi et al., 2017**] Turu Pi A., Koroglu O. Graph Databases and Neo4J. – [https://cs.ulb.ac.be/public/\\_media/teaching/neo4jj\\_2017.pdf](https://cs.ulb.ac.be/public/_media/teaching/neo4jj_2017.pdf)
- [**Virtuoso**] About OpenLink Virtuoso. – <https://virtuoso.openlinksw.com>.

---

СЕКЦИЯ 2 | **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ  
И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**УДК 004.021**

**ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД И ЭЛЕМЕНТЫ  
ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ В ГРУППАХ РОБОТОВ<sup>1</sup>**

В.В. Воробьев (*gatus86@mail.ru*)  
Национальный исследовательский центр  
«Курчатовский институт», Москва

В работе рассматривается возможность использования логического вывода как элемента системы планирования действий в группе роботов с локальным взаимодействием. Предлагаемый механизм аналогичен механизму, используемому в ПРОЛОГ. Особенности являются наличие функции кэширования ответов, предотвращающей повторные проходы по одним и тем же веткам решений, и механизмы, реализующие доступ к базам данных отдельных роботов как к единой базе данных.

**Ключевые слова:** логический вывод, группа роботов, статический рой, планирование

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ (проект № 16-11-00018) и РФФИ (проект №16-29-04412).

## Введение

При создании систем, объектом управления которых являются группы роботов, большое внимание уделяется вопросам их самоорганизации и поддержания гомеостаза внутри данных групп. Подобные вопросы лежат в основе решения задач формирования формаций [Rubenstein, 2012], отработки согласованного движения [Mondada et al., 2005], совместного поиска и транспортировки объектов [Dorigo et al., 2013], группового картографирования [Ortiz et al., 2004] и т.д. В более глобальном смысле эти проблемы рассматриваются в [Карпов, 2016] через призму биоинспирированного подхода, а в качестве объекта для подражания при построении таких систем предлагаются эусоциальные животные – муравьи.

Однако сами по себе подобные механизмы не гарантируют полноту инструментария, который необходим для решения задач, которые ставятся перед группой роботов. В лучшем случае даже при «полном» копировании колонии муравьев, подобная группа не сможет выполнять задачи, которые не характерны для объекта подражания. Другими словами, робомуравьи скорее всего смогут обеспечить свои «потребности», например, в пище или безопасности, но не смогут успешно решить поставленную человеком задачу по сбору мусора в заданном квадрате.

Особенно остро этот вопрос стоит, когда перед роботом ставят комплексные задачи, решение которых не входит в сферу компетенции уровня социального взаимодействия. Примером такой задачи может быть задача патрулирования. Таким образом, необходим еще один уровень управления – прикладной, который являлся бы неким интерфейсом между группой роботов и оператором, который ставит задачи. Основные функции этого уровня:

- интерфейс между группой роботов и оператором;
- декомпозиция поставленной задачи на подзадачи;
- построение совместного плана действий группы роботов;
- распределение зон ответственности между роботами.

Важнейшей функцией прикладного уровня является построение совместного плана действий. Одним из путей решения подобной задачи является использование механизма логического вывода, который пытается построить путь из текущего состояния системы в целевое. Если такой путь существует, то последовательность найденных алгоритмом состояний будет планом действий по достижению целевого состояния.

Подобный подход использовался еще в работе Shakey [Fikes et al., 1971], где был реализован STRIPS планировщик или в [Jonsson et al., 2000] для космического аппарата. В работе [Mokhtari et al., 2016] рассматривается планировщик, использующий полученный роботом в процессе выполнения

разных задач «опыт», представленный в определенной форме. Кроме того, в [Liu et al., 2016] используется механизм байесовского вывода, что позволяет организовать взаимодействие робота с человеком более эффективно.

Однако, когда речь заходит о группе роботов, использование логического вывода, в частности при планировании, вызывает ряд технических проблем. Во-первых, для того, чтобы система гарантированно обладала свойствами полноты (т.е. если цель достижима, то последовательность действий к цели будет найдена), необходим доступ к базе данных всех членов группы. При этом каждый робот общается исключительно со своими ближайшими соседями, что накладывает определенные ограничения на реализацию доступа ко всем роботам.

Во-вторых, существенной проблемой является то, что при равнозначных ролях внутри группы роботов, когда каждый из них может заниматься логическим выводом, может наступить ситуация, когда все начинают заниматься исключительно им, а каналы связи заняты соответствующими запросами [Карпов, 2013].

Проблему доступа ко всем базам данных роботов можно решить путем организации группы в статический рой – однородную совокупность роботов, между которыми имеется локальная связь, и ретрансляцией запросов от соседей к соседям. При этом необходимо учитывать то, что таким образом осуществляется доступ только ко всем роботам, *входящим в статический рой*. По базам данных тех роботов, которые по каким-то причинам не смогли присоединиться к нему, например, из-за помех или неисправной связи, поиск проводиться не будет. Другими словами – полнота гарантируется только внутри статического роя.

Равнозначность ролей устраняется путем выбора лидера в такой группе (см, например, [Карпов, 2014] или [Воробьев, 2017]), где только он может проводить процедуру логического вывода, а остальные роботы играют вспомогательную роль удаленных баз данных и ретрансляторов запросов [Vorobiev, 2017].

Таким образом, определив план как последовательность действий от текущего состояния статического роя до целевого, заданного извне, и решив проблемы доступа к базам данных всех роботов и равнозначности ролей в статическом рое, можно получить эту последовательность действий, используя логический вывод.

## 1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу: группа роботов, используя информацию, которая содержится в их базах данных, должна определить достижимость цели, заданной оператором. Предварительно для этого необходимо, чтобы роботы организовались в статический рой и определили в нем робота-лидера. Затем

он, получив целевое состояние, использует логический вывод и ретрансляцию сообщений для определения достижимости этого состояния. Подобная задача для статического роя решалась в [Воробьев, 2015], однако описанные там механизмы недостаточны для решения подобной задачи. Поэтому они были дополнены таким образом, чтобы механизм мог решать ряд задач из области логики первого порядка, что существенно расширяло возможности при решении задачи поиска последовательности действий. Сам механизм вывода аналогичен механизму, описанному в ПРОЛОГ.

В качестве примера для этой задачи выбрана классическая задача «обезьяна и банан» [Братко, 1990].

Группа роботов, которым необходимо решить эту задачу, представлена в виде 7 роботов, организованных в виде статического роя. Применен одним из алгоритмов выбора лидера в статическом рое, в результате которого лидером стал элемент, который находится в его середине. Каждый элемент кроме лидера хранит в своей памяти один факт или правило (

рис. 1).



Рис. 1 Статический рой. Лидер помечен символом L

В табл. 1 указаны номера элементов и правила или факты, которые хранят данные элементы. Синтаксис аналогичен синтаксису языка ПРОЛОГ.

Табл. 1.

№	Правило или факт
1	$can(state(-, -, -, yes))$
2	$step(state(P1, onfloor, B, H), go(P1, P2), state(P2, onfloor, B, H))$
3	$step(state(P1, onfloor, P1, H), move(P1, P2), state(P2, onfloor, P2, H))$
4	$can(S1):step(S1, St, S2), can(S2)$
5	$step(state(P, onfloor, P, H, ), climb, state(P, onbox, P, H))$
6	$step(state(onmiddle, onbox, onmiddle, no), bring, state(onmiddle, onbox, onmiddle, yes))$

Планировщик получает запрос в виде выражения  $can(state(ondoor, onfloor, onwindow, no))$  и должен выдать последовательность действий, если она есть, которая ведет к цели.

Отдельно необходимо отметить тот факт, что база данных лидера пуста, т.е. ему придется обращаться к своим соседям для того, чтобы проверить достижимость поставленной цели.

## 2. Решение и вычислительные эксперименты

Используя правила, описанные в [Воробьев, 2015], лидер посылает запрос  $can(state(ondoor, onfloor, onwindow, no))$  своим соседям, которые ретранслируют его дальше и т.д. Полученный запрос проходит процедуру сопоставления, идентичную такой же процедуре, описанной в ПРОЛОГ. Отличием является то, что лидер после успешного сопоставления продолжает процедуру вывода, а остальные элементы роя кладут результат сопоставления в буфер для отправки его обратно. Другими словами, лидер действует по алгоритму:

### **Inference(Goal)**

```
Goal – стек целевых выражений для доказательства
Request(Goal) //Запрос соседям выражения Goal на сопоставление
while(i != len(Base)) //Пока не просмотрена вся база данных
  if Compare(Goal,Base[i]) == true //Сравнение целевого выражения
    //с выражением в базе
    Inference(Goal.next) //Вывод след. цели
  else i = i+1
```

А остальные при получении запроса вызывают функцию поиска:

### **Find(Goal)**

```
Goal – стек целевых выражений для доказательства
Request(Goal) //Запрос соседям выражения Goal на сопоставление
while(i != len(Base)) //Пока не просмотрена вся база данных
  if Compare(Goal,Base[i])==true //Сравнение целевого выражения
    //с выражением в базе
    Transmit(Result(Goal,Base[i])) //Отправить результат сопоставления
  else
    i = i+1
```

Кроме того, стоит отметить, что *любое* обрабатываемое выражение лидер запрашивает у соседей, те у своих и т.д. Фактически, это равнозначно использованию предиката fail в классическом ПРОЛОГ. Необходимо это для поиска всех сопоставимых выражений с обрабатываемым конъюнктом, что позволяет выдавать системе все возможные решения сразу и экономить

время обработки. Однако эту функцию можно отключить, тогда будет выдаваться только ближайший ответ. В данном примере эта функция не отключена.

Сопоставимые выражения с выражением в запросе хранят элементы 1 и 4 (см. табл. 1), которые пересылают правила лидеру. Как только лидер получает ответ, то он снова пытается доказать выражение в запросе. Применяется правило, которое прислал лидеру 4-й элемент (см. табл. 1). После того, как лидер не сможет доказать  $step(state(ondoor,onfloor,onwindow,no),St,S2)$ , он отправит соответствующий запрос соседям. В ответ придут факты № 2, 3 и 5, т.е. база данных лидера будет иметь вид, представленный в табл. 2.

Табл. 2.

№	Правило или факт
1	$can(state(-,-, -, yes))$
2	$can(S1):step(S1,St,S2),can(S2)$
3	$step(state(P1,onfloor,B,H),go(P1,P2),state(P2,onfloor,B,H))$
4	$step(state(P1,onfloor,P1,H),move(P1,P2),state(P2,onfloor,P2,H))$

Факты № 5 и № 6 (табл. 1) не будут посланы, так как не они пройдут процедуру сопоставления.

Если использовать только механизмы поиска с возвратом и унификации, то на этом моменте попытка достичь цели будет неудачной. Это связано с тем, что лидер будет применять последовательно только правило № 2 и факт № 3. Действительно, в [Братко, 1990] отмечено, что ПРОЛОГ чувствителен к порядку фактов и правил в программе.

Используя подобные механизмы в группе роботов, невозможно сделать так, чтобы факты и правила, которые приходят в ответ на запрос лидера, приходили так, чтобы поиск гарантированно завершился. Однако часть проблем решает механизм *кэширования*, т.е. запоминания пути, по которому идет поиск [Russell et al., 1995]. Это позволит отследить ситуацию, когда путь повторяется, и сделать возврат.

Таким образом, при обработке факта № 3 рой снова будет опрошен, в базу добавится выражение  $step(state(P,onfloor,P,H),climb,state(P,onbox,P,H))$  под номером 5, а поиск пройдет далее, последовательно применятся правило № 2, факт № 4, правило № 2 и два раза факт № 3.

Механизм кэширования отследит повторное использование одного и того же факта и сделает возврат, но только один раз. С точки зрения логики работы системы, использование факта № 3 после факта № 4 верно. Стоит отметить, что с точки зрения последовательности действий, применение

факта № 3 один раз совершенно бесполезно. Фактически, для данной задачи это равнозначно переходу из определенной точки пространства в нее же. Кэширование здесь не поможет, так как формально повтора не было. Такие ситуации неизбежны из-за произвольного порядка фактов и правил в БД, однако, не влияют на правильность логических заключений.

После возврата на один шаг будет применен факт №4 и снова применено кэширование. В этом случае система отследит повторное прохождение по ветке факт № 3–факт № 4. Будет выполнен возврат на один шаг назад и применен факт № 5. После этого запрос от лидера сможет быть сопоставлен с фактом, который хранится у робота под № 6, и этот факт станет последним в БД лидера. Благодаря этому факту цель будет благополучно достигнута.

Прохождение от стартового состояния до целевого можно отследить на рис. 2. Здесь стартовое состояние  $can(state(ondoor, onfloor, onwindow, no))$  помечено символом S, а используемые факты – соответствующими символами: G – Go (факт № 2, табл. 1), M – Move (факт № 3, табл. 1), C – Climb (факт № 5, табл. 1), B-Bring (факт № 6, табл. 1). Жирной линией со стрелкой помечен найденный путь. Пунктирная линия с надписью Cache – использование функции кэширования. Линия со знаком X – запрещенный переход.

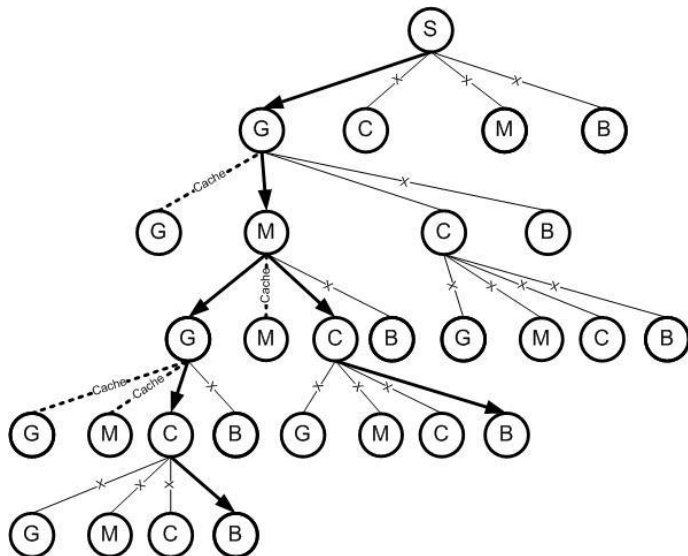


Рис. 2. Прохождение по дереву решений от стартового состояния до целевого



В связи с тем, что система искала все возможные пути до целевого состояния, то после нахождения первого пути все равно будет произведен возврат и найден альтернативный путь, который, к тому же, короче. Других путей найдено не будет и планировщик завершит свою работу.

Были проведены вычислительные эксперименты в среде Kvoqum [Rovbo et al., 2017] и подтверждена работоспособность алгоритма.

## Заключение

В работе рассмотрен дополненный механизм логического вывода в группах роботов с локальным взаимодействием. Алгоритм позволяет оперировать понятиями не только из области логики высказываний, но и решать ряд задач из логики первого порядка. Существенной особенностью является то, что в группах роботов невозможно контролировать порядок фактов и правил, которые подаются на вход элемента, выполняющего вывод. В связи с этим реализован механизм кэширования для контроля повторных проходов по дереву. Это позволяет существенно снизить зависимость результата вывода от порядка поступающих предложений.

Так как данный механизм может решать некоторые задачи из области планирования в группах роботов, то он может стать основой для реализации элементов прикладного уровня управления роботами.

## Список литературы

- [Братко, 1990] Братко И. Программирование на языке Пролог для искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1990.
- [Воробьев, 2015] Воробьев В.В. Логический вывод в статическом рое // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте, 2015.
- [Воробьев, 2017] Воробьев В.В. Алгоритмы выбора лидера и кластеризации в статическом рое роботов // Мехатроника, автоматизация, управление, 2017, Т. 18, № 3.
- [Карпов, 2013] Карпов В.Э. Управление в статических роях. Постановка задачи // VII-я Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», 2013.
- [Карпов, 2014] Карпов В.Э. Процедура голосования в однородных коллективах роботов // XIV Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014, 2014.
- [Карпов, 2016] Карпов В.Э. Модели социального поведения в групповой робототехнике // Управление большими системами, 2016, № 59.
- [Dorigo et al., 2013] Dorigo, M., Floreano, D., Gambardella, L., Mondada, F., Nolfi, S., Vaaboura, T., Birattari, M., et al. Swarmanoid : a novel concept for the study of heterogeneous robotic swarms // IEEE Robot. Autom. Mag. 2013. Vol. 20. No. 4.
- [Fikes et al., 1971] Fikes R.E., Nilsson N.J. Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving // Artif. Intell. 1971. Vol. 2. No. 3–4.

- [Jonsson et al., 2000] Jonsson A.K., Morris P.H., Muscettola N., Rajan K. Planning in Interplanetary Space: Theory and practice // Aips. 2000.
- [Liu et al., 2016] Liu C., Hamrick J.B., Fisac J.F., Dragan A.D., Hedrick J.K., Sastry S.S., Griffiths T.L. Goal Inference Improves Objective and Perceived Performance in Human-Robot Collaboration // 2016 International conference on autonomous agents & multiagent systems. 2016.
- [Mokhtari et al., 2016] Mokhtari V., Lopes L.S., Pinho A.J. Experience-Based Robot Task Learning and Planning with Goal Inference // Twenty-Sixth International Conference on Automated Planning and Scheduling. 2016.
- [Mondada et al., 2005] Mondada F., Gambardella L.M., Floreano D., Dorigo M. The cooperation of swarm-bots: Physical interactions in collective robotics // IEEE Robot. Autom. Mag. 2005. Vol. 12. No. 2.
- [Ortiz et al., 2004] Ortiz C., Konolige K., Fox D., Agno A., Eriksen M., Limketkai B., Ko J., Morisset B., Schulz D., Stewart B., Vincent R. Centibots: Very Large Scale Distributed Robotic Teams // Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI). 2004.
- [Rovbo et al., 2017] Rovbo M.A., Ovsyannikova E.E. Simulating robot groups with elements of a social structure using KVORUM // Procedia Comput. Sci. 2017. Vol. 119.
- [Rubenstein et al., 2012] Rubenstein M., Ahler C., Nagpal R. Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors // Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 2012.
- [Russel et al., 1995] Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 1995.
- [Vorobiev, 2017] Vorobiev V. Inference algorithm for teams of robots using local interaction // Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2017.

УДК 004.896

## МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОАЛИЦИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ КОММУНИКАЦИЯХ<sup>1</sup>

Д.Я. Иванов (*donat.ivanov@gmail.com*)

В.Б. Шабанов (*v.b.shabanov@gmail.com*)

Научно-исследовательский институт  
многопроцессорных вычислительных систем  
им. академика А.В. Каляева  
Южного федерального университета, Таганрог

В работе рассмотрена модель применения коалиций малоразмерных интеллектуальных мобильных роботов при решении задачи формирования мобильной распределенной искусственной нейронной сети быстрого развертывания для решения задачи сбора и обработки информации при работе в условиях ограниченной дальности связи между роботами коалиции. Предложен алгоритмически реализуемый метод организации планирования действий интеллектуальных мобильных роботов коалиции.

**Ключевые слова:** групповая робототехника, коалиция роботов, распределенное взаимодействие, мультиагентные технологии, распределенная искусственная нейронная сеть

### Введение

Область применения интеллектуальных мобильных роботов, особенно малоразмерных, существенно расширяется при объединении их в группы или коалиции. Термин «коалиция роботов» можно рассматривать как синоним термина «гетерогенная группа роботов», то есть такие группы, в которые входят роботы различной конструкции или функционального назначения, или даже среды перемещения. Так, в гетерогенную группу могут быть объединены наземные и воздушные роботы.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 17-29-07054 и 16-29-04194).

Решение многих практических задач, таких как картографирование, геологоразведка шельфа, мониторинг, формирования мобильных телекоммуникационных сетей быстрого развертывания, требует от роботов, объединенных в коалицию, формирования в пространстве строя заданной конфигурации.

Как показано в [Franchi et al., 2012], надежность и гибкость являются основными преимуществами мультиробототехнических комплексов перед одиночными роботами. Поэтому в последнее время активно ведутся работы в области управления коалициями интеллектуальных мобильных роботов, объединенных единой телекоммуникационной сетью [Jones et al., 2005]. При этом при практическом использовании имеются существенные ограничения на пропускную способность каналов связи и дальность связи между роботами коалиции.

В данной работе предложены оригинальные методы решения задачи планирования действий в коалиции интеллектуальных мобильных роботов при децентрализованной стратегии управления и ограниченных коммуникациях на примере решения задачи развертывания мобильной распределенной искусственной нейронной сети.

## 1. Постановка задачи

Формальная постановка задачи для мультиробототехнических систем неоднократно приводилась в научной литературе. В данной работе при постановке задачи будем придерживаться ранее изложенных в научной литературе [Иванов, 2012; Ivanov et al., 2015; Kaliaev et al., 2011; Paola et al., 2015] принципов с учетом гетерогенного состава коалиции роботов и ограниченных коммуникаций.

Имеется коалиция интеллектуальных мобильных роботов (ИМР). Текущее положение каждого ИМР в пространстве задается координатами и вектором направления. Внутреннее состояние ИМР задается вектор-функцией состояния. Функциональные возможности всех роботов коалиции  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_p\}$ , причем функциональные возможности  $S_{ri} \subseteq S$  каждого отдельного робота коалиции определяем как подмножество от всех функциональных возможностей роботов коалиции, т.е.  $\bigcup_{ri \in R} S_{ri} = S$ . В общем случае некоторые роботы коалиции могут иметь одинаковые функциональные возможности, поэтому  $\bigcap_{ri \in R} S_{ri} \neq \emptyset$ .

Перед всей коалицией роботов ставится групповая задача или групповая цель  $T$ , которая может быть декомпозирована на множество подзадач  $t_j \in T$ . Выполнение групповой цели требует некоторого  $B_T$  множества функциональных возможностей  $B_T = \{s_1, s_2, \dots, s_b\}$ .

В данной работе будет придерживаться терминологии, что подзадача  $t_j$  является некоторым действием, которое может быть выполнено некоторыми роботами коалиции в одиночку. Примерами такой подзадачи может быть перемещение в требуемую точку пространства, проведение измерений параметров окружающей среды, передача сообщения в канал связи, поиск и распознавание объекта в зоне действия бортовых сенсорных устройств.

Выполнение подзадачи  $t_j$  требует некоторого множества функциональных возможностей  $b_i = \{s_1, s_2, \dots, s_{b_i}\}$ . Таким образом, выполнение некоторых подзадач недоступно некоторым роботам группы в том случае если  $S_{r_i} \cap b_i \neq b_i$ . Выполнение групповой цели невозможно для данной коалиции если  $B_T \cap S \neq B_T$ . То есть выполнение отдельной подзадачи не требует от роботов коалиции кооперации.

При совместном планировании действий роботам коалиции необходимо обеспечивать информационный обмен между собой. Будем считать, что передача данных между пультом управления (оператор) и роботами коалиции происходит через один канал связи, поддерживающий передачу данных на большие расстояния. В группе есть один или несколько ИМР, способных поддерживать связь с пультом оператора. Информационное взаимодействие между роботами группы осуществляется через другие каналы связи, радиус действия  $l_{ri}$  которых ограничен настолько, что в коалиции есть пары роботов, которые не имеют прямой связи друг с другом. Если  $d_{ri,rj}$  – это дистанция между роботами  $r_i$  и  $r_j$ , то в коалиции есть хотя бы одна пара  $r_i$  и  $r_j$  таких, что  $l_{ri} < d_{ri,rj}$ .

Роботам группы необходимо совместно собирать информацию о параметрах окружающей среды, о текущем состоянии отдельных ИМР коалиции и о планируемых действиях других роботов коалиции.

Таким образом, планирование совместных действий в коалиции интеллектуальных мобильных роботов заключается в том, каким образом разделить групповую задачу на подзадачи, и каким образом распределить подзадачи между роботами группы так, чтобы решить групповую задачу за допустимое время с учетом имеющихся ограничений на информационное взаимодействие.

## 2. Предлагаемый подход к решению задачи

Решение общей групповой задачи  $T$ , как правило, подразумевает следующие четыре составляющие.

**Организация информационного обмена.** Учитывая различия в имеющихся на борту телекоммуникационных устройствах и в их возможностях, необходимо обеспечить построение единой коммуникационной среды в группе, обеспечить маршрутизацию передачи сообщений в условиях неполноты данных о текущей структуре телекоммуникационной сети.

**Сбор данных о состоянии окружающей среды.** Каждый робот должен сообщить другим роботам группы (некоторым или всем) ту информацию об окружающей среде, которую получил с помощью своих бортовых сенсорных устройств.

**Изменение состояния роботов группы** – выполнение тех действий, которые не приводят к существенному влиянию на окружающую среду, а только изменяют параметры состояния роботов группы (например, осуществление перестроений роботов группы).

**Изменение состояния окружающей среды** – перемещение предметов, забор проб грунта и т.п.

Учитывая имеющиеся ограничения на радиус связи между роботами коалиции, а также тот факт, что прямая связь с пультом оператора есть не у всех роботов коалиции, необходимо предусмотреть механизм маршрутизации в коалиции роботов. В отличие от стационарных телекоммуникационных сетей при движении роботов коалиции одни связи между ними будут пропадать, другие появляться за счет того, что одни роботы группы отдаляются друг от друга на дистанцию, превышающую дистанцию прямой связи, а другие сближаются. Эти изменения структуры телекоммуникационной сети носят недетерминированный характер. Проведенный анализ известных методов маршрутизации в телекоммуникационных сетях недетерминированной структуры показал, что предпочтительно использовать методы роевого интеллекта [Bonabeau et al., 1999; Dorigo et al., 2007] для маршрутизации [Caro et al., 1998; Caro et al., 2005; Schoonderwoerd et al., 1997].

Однако поддержание системы маршрутизации расходует вычислительные и телекоммуникационные ресурсы роботов коалиции. Предпочтительно минимизировать объемы информации, передаваемой между роботами вне зоны прямой связи. И при этом необходимо иметь механизм быстрого оповещения всех роботов коалиции о важных изменениях, таких как смена групповой задачи оператором или обнаружение опасности для всей группы. В этом случае предлагается использование механизмов быстрого оповещения всех роботов коалиции на основе эпидемического алгоритма [Hollerung et al., 2018; Kostadinova et al., 2008]. Робот передает важное сообщение всем тем роботам коалиции, которые попадают в его зону прямой связи. Те роботы, которые попадают в зону прямой связи, передают это сообщение всем роботам. С целью минимизации повторных ретрансляций со-

общения предлагается при каждой передаче сообщения приписывать порядковый номер робота, передавшего это сообщение. Это позволит минимизировать передачу сообщения тем роботам, которые уже получали это сообщение.

Для получения более подробной карты окружающей среды, предлагается комплексирование информации. Каждый робот собирает информацию о текущем состоянии окружающей среды с использованием своих бортовых сенсорных устройств. С помощью бортового вычислительного устройства производится первичная обработка полученных данных, их анализ и структурирование, а затем полученные данные с указанием времени их получения передаются соседним роботам группы. Каждый робот, получив данные о состоянии окружающей среды, производит уточнение имеющейся у него на борту карты параметров окружающей среды.

Изменения параметров роботов коалиции подразумевает в первую очередь выполнение перемещений роботов в пространстве, формирование строя, необходимого для решения групповой задачи.

Изменение окружающей среды коалицией роботов заключается в выполнении действий, которые влияют на параметры окружающей среды.

### **3. Формирование искусственной нейронной сети**

В качестве примера групповой задачи рассмотрим задачу формирования распределенной искусственной нейронной сети (ИНС), в которой каждый ИМР (ее агент) выступает в качестве отдельного нейрона ИНС. В литературе такая задача встречается под названием нейронный рой роботов [Евдокименков и др., 2018].

Для разных конфигураций ИНС необходимы различные построения ИМР группы. При этом строй задается не координатами в пространстве, а дистанциями между соседними ИМР, ведь именно благодаря соблюдению такого положения возможно построение требуемой ИНС.

Искусственные нейронные сети могут быть обучены заранее, а их характеристики сохранены. Группа получает сигнал о построении нужной ИНС и осуществляет перестроение. Затем подгружает заданные параметры ИНС. Алгоритм планирования действий интеллектуальным мобильным роботом коалиции при выполнении задачи формирования распределенных искусственных нейронных сетей быстрого развертывания представлен на рис. 1.

Известно немало подходов к решению строевой задачи в группах мобильных роботов, таких как поведенческий подход [Balch et al., 1998; Lawton et al., 2003], ведущий-ведомый [Desai et al., 1998; Mesbahi et al., 1999; Wang, 1991; Wang et al., 1996], метод виртуальных структур [Lewis et al., 1997], методы на основе теории игр [Erdoğan et al., 2011] и другие.

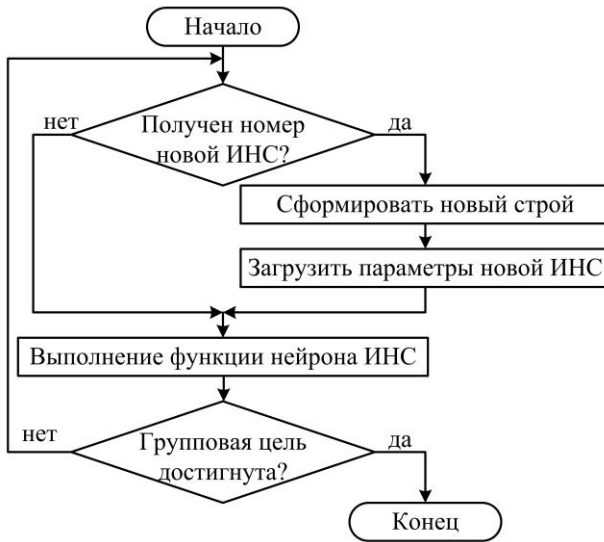


Рис. 1. Алгоритм планирования действий робота при формировании коалицией ИНС

Однако некоторые из этих методов требуют значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет их применение с использованием только бортовых вычислительных ресурсов роботов коалиции, другие же позволяют формировать строй только некоторых заданных конфигураций. Также многие методы нацелены на позиционирование роботов в определенных координатах пространства, в то время как задачи, подобные формированию распределенных ИНС, в условиях ограниченных коммуникаций требовательны к соблюдению заданных дистанций между роботами группы. Для формирования строя с такими требованиями был разработан метод окружностей [Ivanov et al., 2014; Ivanov et al., 2015] для формирования строя на плоскости и метод сфер [Ivanov et al., 2016] для формирования трехмерного строя.

После того, как новый строй сформирован, каждый робот загружает параметры нейрона ИНС, соответствующие данному строю, и приступает к работе в режиме нейрона ИНС до тех пор, пока не получит сообщение от пульта оператора или от других роботов коалиции о том, что необходимо изменить строй и соответствующую ему ИНС.



#### 4. Программное моделирование

С целью проверки работоспособности и оценки эффективности предложенных методов решения строевой задачи в группах ИМР при формировании ИНС, разработано программное обеспечение “Swarm Control”, позволяющее провести компьютерное моделирование формирования и поддержания строев в группах ИМР на примере беспилотных летательных аппаратов типа квадрокоптеров. С помощью программы моделирования проведена серия модельных экспериментов по формированию строев различной формы в группах квадрокоптеров различной численности с целью формирования мобильной распределенной искусственной нейронной сети.

В табл. 1 приведены результаты первой серии экспериментов.

Табл. 1.

Число квадрокоптеров в группе	4	5	6	7	8	9	10
Число экспериментов	20	20	20	20	20	20	20
Средняя длина траектории движения квадрокоптера, м	8,25	6,8	10,4	9,1	12,7	11,5	13,8
Максимальная из имеющихся траектория движения квадрокоптера, м	20,0	20,1	28,5	28,7	33,6	39,1	41,9
Средняя суммарная длина траекторий, м	33,0	33,9	62,7	64,1	102,2	104,5	112,4
Среднее время формирования строя, с	4,0	4,1	5,6	5,7	6,7	7,7	8,3
Максимальное время формирования строя, с	4,1	4,2	5,7	5,9	6,8	7,9	8,4

При решении строевой задачи самой важной из характеристик, приведенных в табл. 1 является время формирования строя. Следует отметить, что время формирования целевого строя при использовании метода окружности пропорционально численности группы квадрокоптеров.

## Заклучение

В статье рассмотрены вопросы планирования действий интеллектуальных мобильных роботов в коалициях при ограниченных коммуникациях. Приведен общий подход к решению этой задачи и рассмотрен пример формирования мобильных распределенных искусственных нейронных сетей. Предложена модификация метода сфер для формирования строя, необходимого для создания мобильных распределенных искусственных нейронных сетей. Приведены результаты компьютерного моделирования.

В дальнейшем планируется детальное рассмотрение методов организации информационного обмена, учитывая не только ограничения на дальность связи между роботами группы, но и на скорость передачи данных и пропускную способность каналов связи.

## Список литературы

- [Евдокименков и др., 2018] Евдокименков В.Н., Жидков В.Н., Ким Н.В. Групповое применение БЛА в разведывательных операциях // Искусственный интеллект: проблемы и пути решения, 2018.
- [Иванов, 2012] Иванов Д.Я. Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки, 2012, Т. 4.
- [Balch et al., 1998] Balch T., Arkin R.C. Behavior-based formation control for multirobot teams // IEEE Trans. Robot. Autom. 1998. Vol. 14.
- [Bonabeau et al., 1999] Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. Swarm intelligence: from natural to artificial systems. : Oxford university press. 1999.
- [Caro et al., 1998] Caro G. Di., Dorigo M. AntNet: Distributed stigmergetic control for communications networks // J. Artif. Intell. Res. 1998. Vol. 9.
- [Caro et al., 2005] Caro G. Di., Ducatelle F., Gambardella L.M. AntHocNet: An adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks // Eur. Trans. Telecommun. 2005. Vol. 16. No. 5.
- [Desai et al., 1998] Desai J.P., Ostrowski J., Kumar V. Controlling formations of multiple mobile robots // Proceedings. 1998 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 1998. Vol. 4.
- [Dorigo et al., 2007] Dorigo M., Birattari M. Swarm intelligence // Scholarpedia. 2007. Vol. 2. No. 9.
- [Erdoğan et al., 2011] Erdoğan M.E., Innocenti M., Pollini L. Obstacle Avoidance for a Game Theoretically Controlled Formation of Unmanned Vehicles // 18th IFAC. 2011.
- [Franchi et al., 2012] Franchi A. at all. Shared control: Balancing autonomy and human assistance with a group of quadrotor UAVs // IEEE Robot. Autom. Mag. 2012. Vol. 19. No. 3.
- [Hollerung et al., 2018] Hollerung T.D., Bleckmann P. Epidemic Algorithms. – <http://my.fit.edu/~gfrederi/ComplexNetworks/09-Epidemic-Algorithms.pdf>.
- [Ivanov et al., 2014] Ivanov D., Kalyaev I., Kapustyan S. Method of circles for solving formation task in a group of quadrotor UAVs // Proc. of the 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI). 2014.

- [**Ivanov et al., 2015**] Ivanov D., Kalyaev I., Kapustyan S. Formation Task in a Group of Quadrotors // Robot Intelligence Technology and Applications 3: Springer. 2015.
- [**Ivanov et al., 2016**] Ivanov D., Kapustyan S., Kalyaev I. Method of Spheres for Solving 3D Formation Task in a Group of Quadrotors // Interact. Collab. Robot. Vol. 9812. Ser. Lect. Notes Comput. Sci. First Int. Conf. ICR 2016, Budapest, Hungary, August 24-26, 2016, Proc. 2016. Vol. 9812.
- [**Jones et al., 2005**] Jones C.V, Matarić M.J. Behavior-Based Coordination in Multi-Robot Systems // Auton. Mob. Robot. Sens. Control Decis. Appl. 2005.
- [**Kaliaev et al., 2011**] Kaliaev I., Kapustjan S., Ivanov D. Decentralized control strategy within a large group of objects based on swarm intelligence // 2011 IEEE 5th Int. Conf. Robot. Autom. Mechatronics. 2011.
- [**Kostadinova et al., 2008**] Kostadinova R., Adam C. Performance Analysis of the Epidemic Algorithms // Intell. Control Autom. 2008. No. 6.
- [**Lawton et al., 2003**] Lawton J.R.T., Beard R.W., Young B.J. A decentralized approach to formation maneuvers // IEEE Trans. Robot. Autom. 2003. Vol. 19. No. 6.
- [**Lewis et al., 1997**] Lewis M.A., Tan K.-H. High Precision Formation Control of Mobile Robots Using Virtual Structures // Auton. Robot. 1997. Vol. 4.
- [**Mesbahi et al., 1999**] Mesbahi M., Hadaegh F.Y. Formation flying control of multiple spacecraft via graphs, matrix inequalities, and switching // Proc. 1999 IEEE Int. Conf. Control Appl. (Cat. No.99CH36328). 1999. Vol. 2.
- [**Paola et al., 2015**] Paola D. Di et al. Decentralized dynamic task planning for heterogeneous robotic networks // Auton. Robots. 2015. Vol. 38. No. 1.
- [**Schoonderwoerd et al., 1997**] Schoonderwoerd R. et al. Ant-based load balancing in telecommunications networks // Adapt. Behav. 1997. Vol. 5. No. 2.
- [**Wang, 1991**] Wang P.K.C. Navigation strategies for multiple autonomous mobile robots moving in formation // J. Robot. Syst. 1991. Vol. 8. No. 2.
- [**Wang et al., 1996**] Wang P.K.C., Hadaegh F.Y. Coordination and Control of Multiple Microspacecraft Moving in Formation // J. Astronaut. Sci. 1996. Vol. 44.

УДК 65.016.8:331.101

## ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕПОЧЕК СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ В СЕТЕВЫХ СТРУКТУРАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ<sup>1</sup>

П.А. Калачихин (*pakalachikhin@viniti.ru*)  
Всероссийский институт научной и технической  
информации РАН, Москва

Ю.Ф. Тельнов (*telnov.yuf@rea.ru*)  
Российский экономический университет  
им. Г.В. Плеханова, Москва

Предлагается применение интеллектуальных технологий с использованием многоагентного подхода и нечетких вычислений для построения цепочек создания ценности в рамках сетевых предприятий. Показано, что повышение эффективности взаимодействия между предприятиями, объединенными общими целями, возможно при помощи создания интегрированного информационного пространства, упорядоченного на основе онтологического подхода, в котором предприятия смогут находить информацию о потенциальных партнерах и устанавливать взаимовыгодные отношения.

**Ключевые слова:** цепочка создания ценности, сетевое предприятие, интеллектуальные технологии, многоагентные технологии, онтология предприятия, нечеткая логика

### Введение

Внедрение цифровых технологий в практику деятельности предприятий и организаций коренным образом меняет характер их взаимодействия, обеспечивая образование динамичных сетевых альянсов на принципах виртуализации и адаптивности к динамично возникающим бизнес-потребностям. Усложнение отношений между партнерами по бизнесу ведет к формированию сетей создания ценности с нелинейным характером взаимодей-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-01062).

ствия, которые направлены, как правило, на создание инновационных продуктов. При этом трансформация межорганизационных взаимодействий осуществляется с использованием современных интеллектуальных технологий, которые позволяют решать задачи динамического управления взаимодействиями предприятиями в интегрированном информационном пространстве (ИП).

Создание интегрированного информационного пространства предприятий предполагает не только интенсивный обмен информацией между участниками совместной деятельности, но и использование ИП для решения задач адекватного распределения полномочий и ответственности между партнерами за выполнение делегируемых бизнес-процессов. С этой точки зрения возникает потребность в цифровизации как описаний продуктов деятельности, так и непосредственно бизнес-процессов как основы для предоставления сервисов участникам совместной деятельности. Составление и поддержание в едином информационном пространстве цифровых образов продукции и услуг, как набора взаимосвязанных информационных ресурсов и знаний, описывающих особенности выполнения всех связанных и взаимодействующих бизнес-процессов, для организации обменов информацией между участниками совместной деятельности становится необходимым условием успешности динамично формируемых сетевых (виртуальных) предприятий.

Примером виртуального предприятия является объединение MDM (от англ. *Master Data Management* – совокупность процессов и инструментов для постоянного определения и управления основными данными, в том числе справочными). Интеграция MDM позволила фармацевтическим компаниям эффективнее управлять продажами, собирая и анализируя информацию из разных источников. Другим примером виртуального предприятия служит надстройка для проведения единой маркетинговой и закупочной политики [Криворотова, 2015].

В настоящее время сетевые взаимодействия активно осуществляются в рамках электронных торговых площадок, в частности, в аптечной сфере [Бакальская и др., 2017]. Аптечная сеть АСНА (сокр. от Ассоциация Независимых Аптек), по сути, является торговой площадкой. Также сетевые взаимодействия происходят в процессе организации сетевого обучения в информационно-образовательном пространстве высших учебных заведений [Тельнов и др., 2013] в соответствии с Федеральным законом РФ «Об образовании в Российской Федерации» № 273, стат. 15 «Сетевая форма реализации образовательных программ».

Создание многоагентных систем поддержки сетевого взаимодействия, ориентированных под конкретные виртуальные архитектуры, позволяет добиться лучшей согласованности действий в рамках стоимостных цепочек

[Osterwalder, 2004] и прочих разновидностей способов создания общих ценностей разными предприятиями.

В работе предлагается развитие и применение многоагентных технологий для формирования цепочек создания ценности в рамках сетевых предпринимательских структур с использованием методов онтологической систематизации разделяемых информационных ресурсов и нечеткого механизма многокритериального выбора партнеров по совместной деятельности для наилучшей реализации проектов.

## 1. Обзор литературы

Кастельс определяет «сетевой» характер современного общества как наиболее важную его черту [Кастельс, 1999]. Третьяк и Румянцева, обращаясь к сетевым структурам, состоящим из предприятий, пришли к выводу о том, что кооперация между предприятиями развивается по всей цепочке создания ценности, а интенсивный рост кооперации в различных формах приводит к размыванию границ предприятий и к новым формам организации бизнеса по типу сети [Третьяк и др., 2003]. Байбакова и Клочков указали, что сетевые структуры ориентированы на комплексное использование методов создания и продвижения инновационного товара, оперативное его изменения через удовлетворение изменяющихся потребностей и ускоренное освоение возможностей новой продуктовой платформы. Важным вопросом синтеза сетей подобной ориентации в формировании конкурентоспособности является проблема оценки эффективности сетевой деятельности для ее участников, а также условий для усиления мотивации предприятий участия в них [Байбакова и др., 2010].

Большое распространение в последнее десятилетие получает концепция развития индустрии 4.0 [Шеер, 2014], согласно которой предполагается реализация следующих принципов:

- индивидуализация производства и оказания услуг;
- децентрализация управления, способность предприятия к самоорганизации;
- обеспечение самоконтроля эффективности;
- выполнение непрерывных инноваций;
- реализация сервисно-ориентированных бизнес-моделей;
- обеспечение прозрачности управления жизненным циклом изделия (PLM).

В связи с развитием принципов Индустрии 4.0 Европейский союз предложил ЕС концепцию «Производство будущего» [Advancing Manufacturing, 2016], в соответствии с которой предусмотрено создание:

- «цифровых» фабрик (Digital Factories), которые поддерживают цифровую модель жизненного цикла продукции на всех его стадиях,

обеспечивая планомерное развитие продукции от зарождения замысла до реализации на рынке;

- «умных» фабрик (Smart Factories), которые широко используют достижения промышленного интернета и роботизации для гибкой организации технологических и бизнес-процессов;
- «виртуальных» фабрик (Virtual Factories), позволяющих интегрировать ресурсы нескольких предприятий в рамках цепочки создания ценности на основе общего информационного пространства.

В данной работе рассматриваются в большей степени проблемы организации виртуальных (сетевых) предприятий, под которыми в соответствии с определением [Схиртладзе и др., 2012] будем понимать предприятия, создающиеся из различных предприятий на контрактной основе, не имеющие единой юридической организационной структуры, но обладающие общей коммуникационно-информационной структурой для интеграции усилий партнеров при выполнении некоторого проекта. С позиции усиления аспекта организации информационных обменов между участниками сетевых взаимодействий необходимо подчеркнуть роль совместно используемых систем управления знаниями в интегрированном информационном пространстве, базирующихся на онтологической систематизации информационных ресурсов и многоагентных технологиях [Тарасов, 1996; Telnov, 2017].

Онтологическому инжинирингу предприятий большее внимание уделяется в работах Остервальдера [Gordijn et al., 2005; Osterwalder, 2004], а также в работах Дитца [Barjjs et al., 2002; Dietz, 2008]. Причем если в работах Остервальдера основной упор делается на отображение архитектуры бизнес-модели функционирования предприятия совместно с заказчиками и поставщиками, то в работах Дитца – на схему оперативного взаимодействия акторов совместной деятельности (заказчиков и исполнителей). Развитие представленных подходов легло в основу предлагаемой модели формирования цепочки создания ценности взаимодействующими предприятиями.

## **2. Онтологический подход к систематизации информационных ресурсов информационного пространства**

Управление жизненным циклом продукции, на базе которого можно выстраивать эффективно организованные цепочки создания ценностей с участием партнеров-смежников, нашло достаточно полное отражение в так называемых CALS-технологиях [Норенков, 2010], в которых одно из центральных мест занимает модуль управления проектными данными (PDM – Product Data Management). Системы более общего характера, связанные с управлением данными на всех этапах жизненного цикла изделий и интеграцией различных промышленных автоматизированных систем, называются

системами управления жизненным циклом изделий PLM (Product Lifecycle Management).

В существующих системах управления проектными данными PDM большое внимание уделяется представлению структуры изделия и управлению версиями конфигураций, а также интеграции с другими компонентами системы управления жизненным циклом и автоматизированного проектирования. Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой метаописаний приложений, закрепляемых в прикладных протоколах CALS. Унификация перечней и наименований сущностей, атрибутов и отношений в определенных предметных областях является основой для единого цифрового описания изделия в информационном пространстве. К компонентам изделия может быть привязана различная проектная документация и документация, относящаяся к маркетингу, снабжению, планированию и администрированию. В основном эта документация с позиции управления знаниями имеет справочный характер.

Вместе с тем, с позиции автоматизации процесса анализа перспективности и эффективности изготовления изделий или оказания услуг информации явно недостаточно. Кроме того, систему PDM хорошо использовать на стадии проектирования и последующего производства продукции и услуг, когда проект уже приобрел достаточно ясное представление. На более раннем инновационном этапе проработки проектов, когда собственно закладывается успех предпринимательской деятельности, требуется больший объем знаний относительно закладываемых ценностных характеристик продукции и услуг [Zinder, 2017], рисков и ресурсных способностей их реализации, цепочек создания ценностей (бизнес-процессов), используемых ресурсов и участников активностей (агентов или акторов), систематизируемых в виде онтологии предприятия [Telnov, 2017] (рис. 1).

В соответствии с представленной онтологией продукцию предприятия возможно рассматривать в виде набора ценностей, поставляемых производителем клиентам. Значительная часть ценностей представлена сервисами, которые получают клиенты, например, например, печать книг по запросу, дистанционное оказание образовательных и банковских услуг, или характерными свойствами, например, облегченный вес конструкции, высокий уровень надежности эксплуатации.



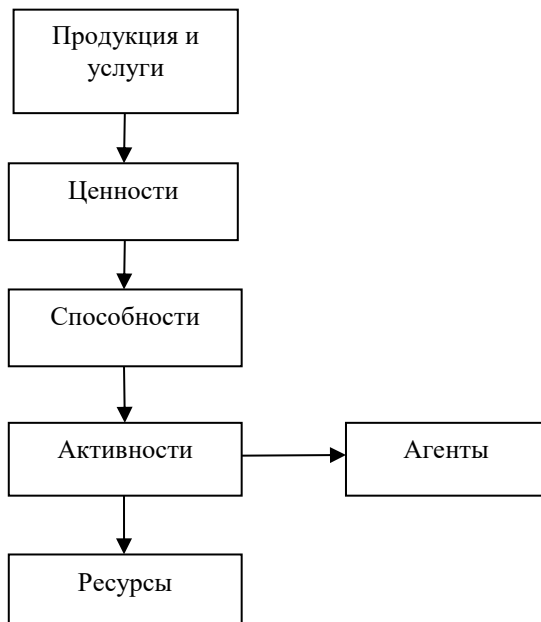


Рис. 1. Онтология предприятия

Успех инновационного этапа производства продукции и оказания услуг связан с определением ценностей (value), которые предоставляют производители своим заказчикам на торговых площадках. Сам по себе этот этап слабо формализован, но его результаты должны быть обязательно увязаны с ресурсными способностями и ограничениями как самого предприятия, так и привлекаемых партнеров. Каждая ценность достигается за счет применения набора способностей предприятия. Способность реализуется комбинацией ресурсов, персонала, организационных структур, знаний, технологий, которые определяют возможность реализации ценностных характеристик производимой продукции или оказываемых услуг.

Каждая из способностей вызывает необходимость построения адекватного бизнес-процесса, состоящего из активностей, потребляющих ресурсы и исполняемых участниками бизнес-процесса, которые могут быть как внутренними, так и внешними исполнителями (агентами). Привлечение внешних исполнителей в современных условиях осуществляется в рамках концепции создания сетевых предприятий.

Оценка необходимости выполнения активности собственными силами или её передача на аутсорсинг может быть получена на основе максимизации

ции получаемой ценности по разным вариантам организации цепочки создания ценностей ( $i = 1, N$ ), вычисляемой в виде суммарной нечеткой оценки по всем ценностям по шкале (0, 1), предоставляемым продукцией:

$$\hat{V}_i = \max \oplus_{u=1}^U \hat{V}_{iu},$$

где  $\hat{V}_i$  – нечеткая суммарная оценка ценностей для  $i$ -го варианта цепочки создания ценности;  $\hat{V}_{iu}$  – нечеткая оценка  $u$ -й ценности для  $i$ -го варианта цепочки создания ценности;  $\oplus$  – операция аддитивного суммирования нечетких чисел.

В свою очередь, нечеткая оценка  $u$ -й ценности для  $i$ -го варианта цепочки создания ценности получается как отрицание минимальной оценки по шкале (0, 1) произведения нечетких оценок отклонения ресурсных способностей, предоставляемых исполнителями (агентами), от требуемых способностей для обеспечения необходимого уровня способностей:

$$\hat{V}_{iu} = 1 - \min \otimes_{j=1}^M \varphi(T_{ij} - R_{ij}),$$

где  $\hat{V}_{iu}$  – нечеткая оценка  $u$ -й ценности для  $i$ -го варианта цепочки создания ценности;  $T_{ij}$  – необходимый уровень  $j$ -й способности для реализации  $u$ -й ценности в  $i$ -м варианте цепочки создания ценности;  $R_{ij}$  – реализуемый уровень  $j$ -й способности для реализации  $u$ -й ценности в  $i$ -м варианте цепочки создания ценности;  $\varphi$  – функция фаззификации (0, 1);  $\otimes$  – операция мультипликативного умножения нечетких чисел.

### **3. Многоагентная технология формирования цепочек создания ценности**

Технология построения прикладных систем группового управления, состоящих из большого числа автономных подсистем, организованных в сеть, интегрирует подходы распределенного принятия решений, многоагентных систем, сервисно-ориентированной архитектуры и вычислений на основе парных взаимодействий [Городецкий и др., 2009]. Чтобы создать успешную и эффективную систему сетевого бизнеса на основе интеллектуальных программных агентов, необходимо промоделировать процесс взаимодействия реальных агентов (актеров) в процессе принятия решений о заключении соглашения на совместную деятельность по схеме «заказчик–исполнитель». Рассмотрим реализацию такой схемы в виде следующего алгоритма.

Шаг 1. Формирование концепции проекта. Программный агент, представляющий инициатора проекта, размещает в информационном пространстве цифровое описание концепции проекта в виде набора ключевых ценностей для потребителей и предполагаемой цепочки создания ценности.

Шаг 2. Получение обратной связи от программных-агентов, потенциально заинтересованных в совместной деятельности. Программные агенты-потенциальные исполнители получают доступ к цифровому описанию концепции проекта, осуществляют оценку своих способностей и формируют предложение по участию в совместном проекте.

Шаг 3. Конфигурация цепочки создания ценностей. Программный агент, представляющий заказчика, осуществляет оценку поступивших предложений и выбор по критериям наилучших исполнителей для различных звеньев цепочки создания ценности.

Шаг 4. Согласование условий реализации цепочки создания ценности. Программные агенты согласовывают между собой условия совместной деятельности и подготавливают соглашение для утверждения.

Шаг 5. В случае успешного завершения процесса согласования проекта со всеми заинтересованными сторонами запускается процесс мониторинга исполнения проекта. В случае несогласованности проекта осуществляется возврат на шаг 4 для отбора нового варианта конфигурации цепочки создания ценностей.

Программная реализация интеллектуальных агентов должна предоставлять набор сервисов, которые осуществляют формирование запросов на исполнение активностей, проверку возможности их реализации, конфигурирование цепочки создания ценности, её исполнение, проверку соответствие исходному запросу в результате завершения процесса, возможность обработки исключительных состояний. Состояние исполняемых транзакций на каждом шаге алгоритма представляется в динамической базе данных, доступной взаимодействующим агентам. База знаний оценки ценностей и способностей представляет собой наборы правил решений, характер которых определяется особенностями предметной области.

Отличительной особенностью предложенного многоагентного подхода к реализации динамического взаимодействия интеллектуальных агентов в интегрированном информационном пространстве является применение ролевой специализации и применения базы знаний для принятия решений по ходу конфигурирования цепочек создания ценности, что позволяет повысить эффективность непрерывного инжиниринга сетевых предприятий в соответствии с изменяющимися инновационными потребностями рынка.

## **Заключение**

В работе предложен подход к гибкому формированию цепочек создания ценности в рамках сетевых предприятий на основе онтологической систематизации информационных ресурсов о выпускаемой продукции и оказываемых услугах и организации многоагентного взаимодействия участников совместной деятельности.

Предложенный механизм нечеткого оценивания необходимого уровня ценности выпускаемой продукции, оказываемых услуг и ресурсных способностей в цепочках создания ценности, а также алгоритм оперативного планирования и исполнения бизнес-процессов посредством коммуникации интеллектуальных программных агентов позволяют повысить эффективность сетевого взаимодействия заинтересованных в совместной деятельности предприятий и организаций.

### Список литературы

- [Байбакова и др., 2010] Байбакова Е.Ю., Ключков В.В. Экономические аспекты формирования сетевых организационных структур в российской наукоемкой промышленности // Управление большими системами: сб. тр., 2010, № 30-1.
- [Бакальская и др., 2017] Бакальская Е.В., Ерофеева Е.А. Неценные способы повышения конкурентоспособности аптечной сети // Аллея науки, 2017, № 10(2).
- [Городецкий и др., 2009] Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Прикладные многоагентные системы группового управления // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009, № 2.
- [Кастельс, 1999] Кастельс М. Становление общества сетевых структур // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология, 1999.
- [Криворотова, 2015] Криворотова Н.Ф. Тенденции развития сетевых механизмов управления в электронной среде организации // Сборники конференций НИЦ Социосфера, 2015, № 53.
- [Норенков, 2010] Норенков И.П. Основы CALS-технологий. – [http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Default/110\\_CALS.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Default/110_CALS.cou).
- [Схиртладзе и др., 2012] Схиртладзе А.Г., Скворцов А.В., Чмырь Д.А. Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий: учебник для вузов. – Москва: Абрис, 2012.
- [Тарасов, 1996] Тарасов В.Б. Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям // Новости искусственного интеллекта, 1996, № 4.
- [Тельнов и др., 2013] Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Трембач В.М. Создание информационно-образовательного пространства высших учебных заведений на основе сервисно-ориентированной архитектуры и многоагентной технологии // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2013): Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 21-23 февраля 2013г.) / редкол.: В.В. Голеньков (отв. ред.) – Минск: БГУИР, 2013.
- [Третьяк и др., 2003] Третьяк О.А., Румянцева М.Н. Сетевые формы межфирменной кооперации: подходы к объяснению феномена // Российский журнал менеджмента, 2003, № 2(1).
- [Шеер, 2014] Шеер А.В. Драйверы бизнес-администрирования для I4.0: логистика и новые бизнес-модели. – <http://i-love-bpm.ru/scheer/drayvery-biznes-administrirvaniya-dlya-i40-logistika-i-novye-biznes-modeli>.

- [**Advancing Manufacturing, 2016**] Advancing Manufacturing – Advancing Europe / Report of the Task Force on Advanced Manufacturing for Clean Production. – <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/advancing-manufacturing-advancing-europe-report-task-force-advanced-manufacturing-clean.pdf>.
- [**Barjis et al., 2002**] Barjis J., Chong S., Dietz J.L.G., Liu K. Development of agent-based e-commerce systems using semiotic approach and demo transaction concept // Int. J. of Information Technology & Decision Making. 2002. No. 1(03).
- [**Gordijn et al., 2005**] Gordijn J., Osterwalder A., Pigneur Y. Comparing two business model ontologies for designing e-business models and value constellations // BLED 2005 Proceedings. 2005.
- [**Dietz, 2008**] Dietz J. Enterprise Ontology – Theory and Methodology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. Русский пер.: А. Левенчук, М. Отставнов. Подход DEMO. Метод архитектурного описания организаций, 2008. – [http://www.techinvestlab.ru/files/504456/demo\\_praxos\\_1.doc](http://www.techinvestlab.ru/files/504456/demo_praxos_1.doc), <http://www.slideshare.net/ailev/demo-presentation-615337>.
- [**Osterwalder, 2004**] Osterwalder A. The Business Model Ontology – a proposition in a design science approach. Thesis PhD. 2004.
- [**Telnov, 2017**] Telnov Yu. Ontology engineering of network companies // Сборник трудов 5-й Международной научной конференции «Актуальные проблемы системной и программной инженерии», 14-16 ноября 2017 г. / Под науч. ред. Б.А. Позина. – М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017.
- [**Zinder, 2017**] Zinder E. Values based risks managementn in the times of digital economy // Научно-техническа конференция “Наука, техника, сигурност” (Пловдив, 22-23.11.2017). Пловдив: Издателство на регионалния научно-технически съюз по отбранителна индустрия и сигурност. 2017.

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАШЕННОСТИ КОМАНДЫ ПРИ ГОЛОСОВОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОМ<sup>1</sup>

И.П. Карпова (*karpova\_ip@mail.ru*)

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»,  
Национальный исследовательский центр  
«Курчатовский институт», Москва

М.А. Ровбо (*rovboma@gmail.com*)

Национальный исследовательский центр  
«Курчатовский институт», Москва

В докладе рассматривается управление роботом с помощью голосовых команд, которые преобразуются в текст и представляются в виде набора слов. Предлагаемый метод распознавания команд основан на сопоставлении текста поступившей команды со словарем и поиске слов-модификаторов, отражающих эмоционально-экспрессивную окрашенность команды и влияющих на приоритет ее выполнения.

**Ключевые слова:** мобильный робот, голосовое управление, эмоционально-экспрессивная окрашенность команды

### Введение

Человеко-машинные интерфейсы управления роботом, основанные на голосовой связи, являются естественным для человека способом отдавать роботу различные команды. В данном докладе рассматривается работа с голосовой командой, преобразованной в текст и представленной в виде набора слов. Основная задача – точное и быстрое распознавание команды, отданной пользователем. Важными элементами голосового управления являются психологические аспекты [Ющенко, 2009], а также естественность передачи вместе с командой дополнительной информации (такой как прио-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 16-11-00018) и РФФИ (проект № 17-29-07083\_офи\_м).

ритет). Приоритет можно связать с эмоционально-экспрессивной окрашенностью команды, отдаваемой оператором: чем она более явно выражена, тем больший приоритет имеет команда.

В настоящее время активно эксплуатируются роботы, обладающие узкоспециализированным функционалом: транспортные, роботы-пожарные. Управление такими системами может осуществляться с помощью ограниченного подмножества естественного языка, который робот должен распознавать, что обусловлено наличием конкретного перечня выполняемых действий. Например, в [Sivakumar et al., 2013] описана система голосового управления роботизированной инвалидной коляской, которая распознает всего 5 команд (вперед, назад, налево, направо, продолжать). Для голосового управления роботами с ограниченным набором команд не требуется большой словарный запас и можно использовать относительно простую систему распознавания, способную распознавать изолированные слова и короткие фразы [Ondáš et al., 2013]. Для этого нет необходимости проводить серьезный морфологический, синтаксический и семантический анализ, поэтому и в нашем случае эти этапы можно опустить.

При организации управления роботом широко распространен подход, основанный на эмоциональной архитектуре систем управления роботом. Эмоция рассматривается как механизм внутренней оценки ситуации роботом и как способ влияния на поведение робота. Например, в [Gadanhó et al., 2003] описывается подход, при котором робот в процессе обучения с подкреплением использует эмоциональную оценку ситуации для перехода от одной поведенческой процедуры к другой.

Существуют роботы, которые умеют определять эмоциональный настрой взаимодействующего с ними человека и, в зависимости от этого, меняют свое поведение. Голосовой интерфейс таких систем, в основном, ориентирован на определение эмоций из акустических характеристик речи человека. Более того, в таких интерфейсах обычно выявляются сложные человеческие эмоции (гнев, радость, раздражение), поэтому используются комплексные подходы: определение эмоций по голосу и выражению лица, по голосу и жестам [Alonso-Martín et al., 2013].

Более близкой к нашей тематике является работа [Schuller et al., 2008]. В инвазивных операциях хирург ориентируется по изображению, получаемому с камеры, которой управляет робот с помощью голосовых команд хирурга. Для повышения адекватности управления в контур взаимодействия человек-робот включен учет эмоций. Голос хирурга сопоставляется с 3035 записями базы данных спонтанной эмоциональной речи в реальных хирургических операциях. Если система обнаруживает раздражение в голосе хирурга, активизируется диалоговое окно обратного вызова для подтверждения того, что камера направлена правильно.

Для определения эмоционального характера текста обычно используются специальные словари эмоционально окрашенных слов [Tausczik et al., 2010]. В таких словарях приводятся слова, отражающие степень проявления чувств и переживаний (экспрессию), например: уверенность (всегда, никогда), сомнение (предположительно, я думаю, возможно) и т.д. Для учета эмоционально-экспрессивной окраски команд мы также воспользуемся подобным словарем.

## **1. Постановка задачи**

Пусть имеется мобильный робот, оснащенный некоторым количеством датчиков и системой восприятия голосовых команд. Рассматриваемый робот хранит задачи в очереди, каждой задаче соответствует процедура в виде конечного автомата. Когда заканчивает свою работу один автомат (т.е. задача выполнена или отменена), то продолжает работу следующий. Выполнение каждой процедуры инициируется внешней командой, которая представляет собой пару: имя выполняемой процедуры и приоритет команды. В каждый момент времени робот может выполнять только одну процедуру, поэтому поток команд оператора задает последовательность выполнения роботом тех или иных поведенческих процедур.

Местоположение новой команды в очереди определяется ее приоритетом. Это означает, что, в зависимости от приоритета, новая команда может быть поставлена в очередь как некоторое отложенное действие, может прервать выполнение текущей процедуры и активизировать новую, более приоритетную, а может и вовсе отменить выполнение текущей процедуры. Таким образом, если приоритет пришедшей команды максимален, то выполнение текущей команды должно быть приостановлено, а управление передано новой команде, помещаемой в стек. Если приоритет новой команды меньше приоритета текущей, то команда помещается внутрь очереди в соответствующую позицию.

## **2. Выделение императивных форм и эмоционального компонента**

Целью системы голосового управления является удобство и надёжность, в частности, важно минимизировать число ошибочных распознаваний и сопоставлять командам соответствующий приоритет исполнения. Это можно реализовать, учитывая эмоционально-экспрессивную окраску команд, отдаваемых роботу. Такой подход позволит естественным для человека образом отделять высокоприоритетные задачи от низкоприоритетных. Для этого предлагается использовать специальные ключевые



слова в командной фразе (например, «немедленно», «сейчас же» или «потом»), которые позволяют определить необходимость повышения или понижения приоритета команды по сравнению с её значением по умолчанию.

### **2.1. Эталонное множество команд и базовые приоритеты**

Язык команд выбран весьма простой и ограниченный, задаваемый заранее определённым списком, соответствующим возможностям робота. Простота языка важна также для реализации алгоритмов на бортовой вычислительной системе с ограниченными ресурсами.

Множество доступных команд и соответствующих им фраз задаётся в виде словаря, включающего базовый приоритет команды (тот приоритет, который у неё есть до применения модификаторов). Фраза состоит из одного или нескольких слов, разделённых пробелами. Помимо основного словаря, имеется список слов-модификаторов, которые придают команде эмоциональную окраску. Эти модификаторы обрабатываются отдельно, перед тем как искать фразу в словаре команд. Их эффект (понижение или повышение приоритета) запоминается, после чего они удаляются из фразы, и она поступает на дальнейшую обработку. Значения приоритетов команды  $p_1$  и модификатора  $p_2$  (ключевого слова) должны лежать в интервале  $[0;1]$ . Итоговый эффективный приоритет  $p$  команды рассчитывается по известной формуле:

$$p = p_1 + p_2 - p_1 p_2. \quad (2.1)$$

Полученная в результате величина  $p$  монотонна и имеет ту же область значений  $[0, 1]$ .

Помимо эмоциональной окраски, управляющей приоритетом, необходимо отдельно выделять случаи, когда требуется отменить выполнение предыдущих команд. Таким образом, базовый механизм сопоставления команд расширен маркерами приоритетов и отменяющими командами.

### **2.2. Метод сравнения множеств и списков**

Для выбора команды из списка команд необходимо определить степень сходства с множествами слов, представляющих командную фразу в словаре, а также распознать модификаторы и обработать их приоритеты. Для решения этих задач применяется метод сравнения множеств, описанный в [Карпов и др., 2000; Карпова, 2001], и итерационная оценка приоритета. За область значений степени сходства  $\delta$  принимается интервал  $[0, 1]$ :  $\delta = 1$  для идентичных множеств,  $\delta = 0$  для множеств, состоящих из разных элементов.

Степень сходства множеств вычисляется как величина, обратная к расстоянию  $r$  между множествами ( $r$  определено на интервале  $[0, 1]$ ):

$$\delta = 1 - r. \quad (2.2)$$

Пусть даны два множества  $A$  и  $B$ , состоящие из элементов базового множества  $R$ . Элементы множества могут быть скалярными величинами, множествами и списками. Расстояние между множествами скалярных величин может быть определено как:

$$r = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, \quad (2.3)$$

и тогда степень сходства таких множеств  $\delta^S$  можно оценить по формуле:

$$\delta^S = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}. \quad (2.4)$$

Рассмотрим случай, когда элементами множества являются множества. Для случая, когда  $A = (a_1, a_2, \dots)$  – словарь команд, а  $B = (b_1)$  – фраза, полученная от пользователя, определение соответствующей  $b_1$  команды  $a_k$  и ее приоритета может быть выполнено в два этапа.

*Этап 1.*  $b_1 \in B$  сравнивается со всеми элементами множества  $A$  (по правилам определения сходства множеств, (2.3)). На основе полученных значений вычисляется величина  $\delta_i$ , которая рассматривается как степень уверенности в том, что  $i$ -й элемент множества  $A$  соответствует элементу  $b_1$ . Индекс команды, имеющей максимальную степень сходства с распознанным текстом, определяется следующим образом:

$$k = \operatorname{argmax}(\delta_i).$$

*Этап 2.* Приоритет распознанной команды  $a_k$  с базовым приоритетом  $p_1$  при применении модификатора с весом  $p_2$  рассчитывается по (2.1).

Если к команде применяется несколько модификаторов, то приоритет определяется итеративно с помощью выражения (2.1). Модификатор добавляется в двух случаях: во входной фразе  $b_1$  распознано ключевое слово-модификатор, либо найден повтор текущей словарной команды в этой же фразе. Во втором случае для первой итерации  $p_1 = p_2$ , затем к полученному значению итерационно добавляются веса модификаторов.

Таким образом, голосовая команда рассматривается как множество слов, которое сопоставляется с командами из словаря с помощью выражения (2.3). А приоритет команды определяется с учетом слов-модификаторов и повторов команд в соответствии с (2.1).

### 3. Эксперименты

Для валидации предложенного метода был проведён качественный тест с двумя конфигурациями системы: без использования приоритетов (новая команда помещается всегда в верхушку стека) и с использованием приоритетов (в зависимости от ключевых слов, команда переносится в соответствующее место стека). На реальном роботе проверялись возможность и

удобство управления роботом на простой задаче, которая заключалась в обнаружении объекта на полигоне и его перемещения (требовалось подвинуть кубик, толкая его роботом). Для этого у робота имеется набор поведенческих процедур и соответствующих им команд: свободное блуждание и поиск объекта, взаимодействие с объектом, движение вперед, «сон» (режим ожидания на месте), отмена текущей команды, сброс всего стека команд. Обнаружение объекта проводилось с помощью специального модуля видеообработки [Московский и др., 2018]. Тестовая платформа включала мобильного робота (рис. 1) и отдельный компьютер, который управлял роботом по беспроводной связи. Архитектура системы обработки голосовой команды (рис. 2) создана на основе платформы ROS [Quigley et al., 2009].

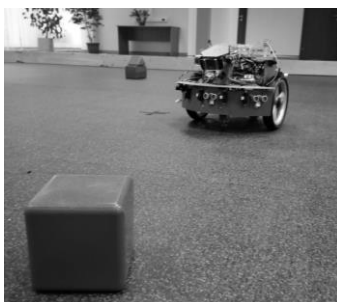


Рис. 1. Мобильный робот и целевой объект

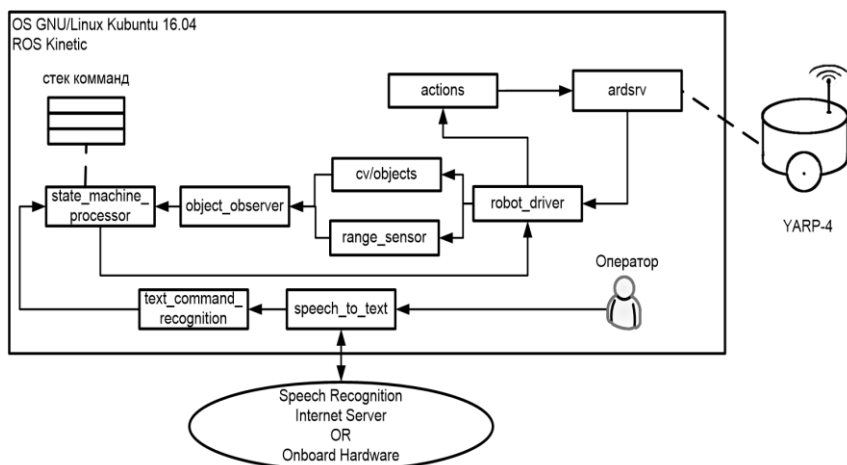


Рис. 2. Архитектура системы обработки голосовой команды

Узел *speech\_to\_text* обеспечивает приём звуковых данных, разбиение их на фразы, исходя из пауз в речи, пересылку этих коротких звуковых записей Google или Yandex сервису распознавания голоса с помощью их API и отправку полученного текстового сообщения узлу *text\_command\_recognition*. Этот узел с помощью описанного выше метода сопоставляет текст с одной из команд в словаре и оценивает ее приоритет. После этого соответствующий конечный автомат добавляется в очередь команд и выполняется узлом *state\_machine\_processor* на основе данных об объектах, обнаруженных дальномерами и модулем компьютерного зрения.

Список ключевых слов, влияющих на поведение, приведен в табл. 1.

Табл. 1.

Тип	Приоритет	Слово
Обращение	Не меняет	«робот»
Приказ	Повышает	«немедленно»
Неотложное выполнение	Повышает	«сейчас»
Приказ	Повышает	«быстро»
Неуверенность	Понижает	«пожалуй»
Неуверенность	Понижает	«наверное»
Отложенное выполнение	Понижает	«потом2
Просьба	Понижает	«пожалуйста»

Полигон представлял собой область, ограниченную деревянными препятствиями достаточной высоты для обнаружения датчиками робота. На полигоне располагался набор различных разноцветных препятствий и целевой объект – зеленый кубик, который требовалось подвинуть. Работа оператора с вариантами системы без приоритетов и с ними выглядела следующим образом:

- стек без приоритетов: [Сон, Вперед, Поиск] → [Очистка стека] → [Толкай];
- Стек с приоритетами: [Сон, Вперед, Поиск] → [Сон, Вперед, Толкай, Поиск].

В ходе эксперимента робот выполнял все задачи последовательно или с учетом приоритетов, определяемых по словам-модификаторам. Эксперимент показал работоспособность предложенного метода голосового управления.

## Заключение

Проверена идея о полезности определения приоритета на основе выявления эмоционально-экспрессивной окрашенности команды оператора. Подтверждена работоспособность алгоритма итерационной оценки приоритета команд, распознанных с помощью метода сравнения множеств. Без

учета приоритета оператору приходится, задав последовательность команд, при необходимости изменений отменять все команды и задавать их заново. В то время как с системой определения приоритетов оператор может «вставить» отложенную команду в существующую последовательность команд. Это позволяет уменьшить количество отдаваемых команд и сделать управление роботом более удобным для оператора.

Несмотря на использование в экспериментах отдельного компьютера и интернет-сервера обработки речи, система легко может быть перенесена на борт робота с использованием одноплатного компьютера и платы обработки речевых команд.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность В.Э. Карпову за участие в обзоре данной работы.

### Список литературы

- [Карпов и др., 2000] Карпов В.Э., Карпова И.П. Язык описания системы контроля знаний // Компьютеры в учебном процессе, 2000, № 4.
- [Карпова, 2001] Карпова И.П. Анализ ответов обучаемого в автоматизированных обучающих системах // Информационные технологии, 2001, № 11.
- [Московский и др., 2018] Московский А.Д., Бургов Е.В., Овсянникова Е.Е. Зрительный анализатор анимата как основа семантики сенсорной системы робота // Мехатроника, автоматизация, управление, 2018, № 5.
- [Ющенко, 2009] Ющенко А.С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей // Сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», 2009.
- [Alonso-Martín et al., 2013] Alonso-Martín F., Malfaz M., Sequeira J. et al. A multi-modal emotion detection system during human-robot interaction // Sensors (Switzerland). 2013. Vol. 13. No. 11.
- [Gadanhó et al., 2003] Gadanhó S.C. and Custódio L. Learning behavior-selection in a multi-goal robot task // Inform. 2003. Vol. 27. No. 2.
- [Ondáš et al., 2013] Ondáš S., Juhár J., Pleva M. et al. Speech Technologies for Advanced Applications in Service Robotics // Acta Polytechnica Hungarica. 2013. Vol. 10. No. 5.
- [Quigley et al., 2009] Quigley M., Conley K., Gerkey B. et al. ROS: an open-source Robot Operating System // ICRA workshop on open source software. 2009.
- [Schuller et al., 2008] Schuller B., Rigoll G., Can S., Feussner H. Emotion sensitive speech control for human-robot interaction in minimal invasive surgery // Proc. 17th IEEE Int. Symp. Robot Hum. Interact. Commun. RO-MAN. 2008.
- [Sivakumar et al., 2013] Sivakumar M.S., Murji J., Jacob L.D. et al. Speech controlled automatic wheelchair // Pan African Int. Conf. Inf. Sci. Comput. Telecommun. PACT-2013.
- [Tausczik et al., 2010] Tausczik Y.R. and Pennebaker J.W. The psychological meaning of words: LIWC and computerized text analysis methods // J. Lang. Soc. Psychol. 2010. Vol. 29. No. 1.

УДК 004.89:004.946

## МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЫБОРА КОМПРОМИССНОГО ВАРИАНТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ НА ФИРМЫ

С.В. Медгаус (*medgaus-sergey@yandex.ru*)

О.И. Федяев (*fedyaev@donntu.org*)

Донецкий национальный технический университет,  
Донецк

Приведена математическая постановка задачи мультиагентного моделирования процесса трудоустройства студентов на фирмы. Она представлена как задача коллективного выбора с учётом взаимных требований сторон. Для каждого типа агентов формализованы его роли и протоколы взаимодействия с другими агентами. Предложены два подхода к реализации сотрудничества агентов при поиске компромиссного решения в распределении студентов.

**Ключевые слова:** агенты, мультиагентная система, имитационная модель, сотрудничество агентов, трудоустройство студентов

### Введение

Оценка эффективности процессов подготовки специалистов и их трудоустройства важна для анализа и управления сложной и инерционной системой образования, в рамках которой решаются задачи составления государственных стандартов, организации эффективного учебного процесса, распределения выпускников на предприятия в соответствии с полученной квалификацией и требованиями заказчиков. Эти задачи трудно формализуемы и не могут быть решены традиционными математическими методами. Кроме того, участники рассматриваемых процессов взаимосвязаны и образуют распределённую, неоднородную и интеллектуальную систему [Тельнов и др., 2015; Федяев, 2016].

Разработка адекватной имитационной модели такой системы для её анализа и управления может быть успешно осуществлена с помощью агентно-ориентированных методов моделирования, используемых для описания поведения неоднородных систем с распределённым интеллектом [Тарасов, 2002].

## 1. Постановка задач

Модель динамического процесса трудоустройства студентов на фирмы (предприятия) представлена двумя группами взаимодействующих искусственных агентов (рис.1) Здесь:  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  – множество агентов, представляющих студентов, которые хотят трудоустроиться по специальности ( $N$  – количество студентов);  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$  – множество агентов, представляющих фирмы разного профиля, которые предлагают вакантные места для работы ( $M$  – количество фирм).

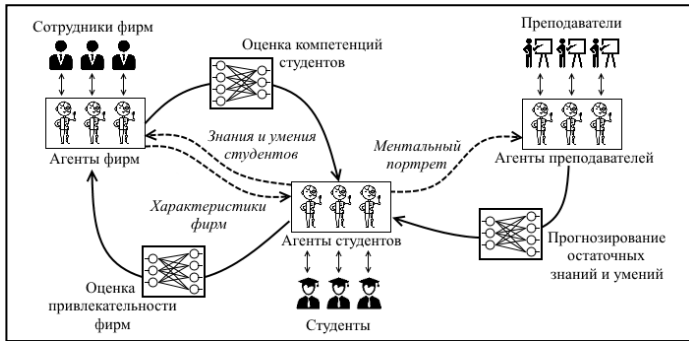


Рис. 1. Многоагентная система имитационного моделирования процесса подготовки и распределения студентов на фирмы

Процесс трудоустройства начинается с того, что каждый студент по своим критериям оценивает для себя привлекательность каждой фирмы

$$t_{n,m} = \varphi_n(c_m),$$

где  $t_{n,m}$  – оценка привлекательности  $m$ -й фирмы для  $n$ -го студента;  $\varphi_n$  – многомерная функция субъективной оценки  $x_n$  привлекательности фирмы  $f_m$ ;  $c_m$  – вектор значений социально-экономических характеристик, т.е. социальный пакет, который предлагается студенту на фирме  $f_m$  (размер заработной платы, продолжительность рабочего дня, форма собственности, обеспеченность жильём, возможность удалённой работы).

В свою очередь каждая фирма оценивает уровень знаний и умений претендентов, предлагая им тестовые задания по профилю деятельности

$$g_{n,m} = \sum_{j=1}^{J_m} \mu_{m,j}(z_n),$$

где  $z_n$  – вектор значений уровней знаний и умений студента  $x_n$ ;  $\mu_{m,j}$  – многомерная функция субъективного оценивания  $m$ -й фирмой способность студента  $x_n$  решать  $j$ -е задание, предлагаемое фирмой;  $g_{n,m}$  – оценка профессиональных компетенций  $n$ -го студента, выставленная  $m$ -й фирмой;  $J_m$  – количество тестовых заданий у  $m$ -й фирмы ( $1 \leq j \leq J_m$ ).

Поставленная цель достигается путём решения следующих задач.

**Задача 1.** Задача относится к классу обратных задач и заключается в нахождении функций  $\varphi_n(\cdot)$  и  $\mu_{m,j}(\cdot)$ . Функция  $\varphi_n(\cdot)$  отражает мнение студента или группы студентов и описывает зависимость привлекательности фирмы от предлагаемого социального пакета. Функция  $\mu_{m,j}(\cdot)$  имитирует поведение работников фирмы, занимающихся подбором кадров, при тестировании уровня компетенции студентов по профилю деятельности фирмы. Поскольку обе функции связывают качественные данные, то для их конструирования применена нейросетевая методология как средство функциональной аппроксимации. Для обучения нейросетевых моделей функций использовались данные проводимых опросов нескольких десятков респондентов.

**Задача 2.** Задача относится к проблеме коллективного выбора с учётом взаимных требований сторон, которая типична для задач многокритериального принятия решений [Андрейчиков и др., 2006; Тарасов, 2002]. В содержательной форме эта задача состоит в распределении студентов на фирмы так, чтобы отклонения от планов приёма отобранных лучших студентов были минимальными, а желания студентов были максимально учтены.

Рассмотрим математическую постановку данной задачи. Каждый студент  $x_n$  с учётом своих желаний создаёт для себя список фирм  $Q_n = (q_{n,1}, q_{n,2}, \dots, q_{n,M}), q_{n,m} \in F$ , который показывает очередность посещения им фирм при поиске работы, т.е. в каком порядке студент  $x_n$  будет обходить фирмы. Для этого списки  $Q_n$ , входящие во множество  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_N\}$ , упорядочены по убыванию оценок привлекательности фирм, полученных с помощью функции  $\varphi_n(\cdot)$ :

$$t_{n,k}(q_{n,i}) \geq t_{n,l}(q_{n,i+1}) \text{ если } q_{n,i} = f_k, q_{n,i+1} = f_l.$$

Поскольку один студент не может одновременно посетить все фирмы, то трудоустройство всех студентов происходит за несколько циклов посещений ими выбранных фирм. На каждом цикле для каждой фирмы  $f_m$  формируется очередная очередь (множество)  $R_m = \{r_{m,i} | r_{m,i} \in X, 1 \leq i \leq I\}$  из студентов  $x_n$ , которые хотели бы устроиться на данную фирму, где  $I$  – размер группы претендентов в данном потоке;  $\bigcap_{m=1}^M R_m = \emptyset$ ;  $\emptyset$  – пустое множество (рис.2).

Перед каждым новым циклом посещений все потоки в множестве  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$  обновляются. Например, в  $k$ -й очередь соискателей на фирму  $R_m$  попадают те студенты  $x_n$ , у которых первыми в очереди  $Q_n$  стоит фирма  $f_m$ , т.е.  $q_{n,1} = f_m$  ( $1 \leq n \leq N$ ). Целое число  $k$  также можно трактовать как порядковый номер цикла посещения студентами фирм.



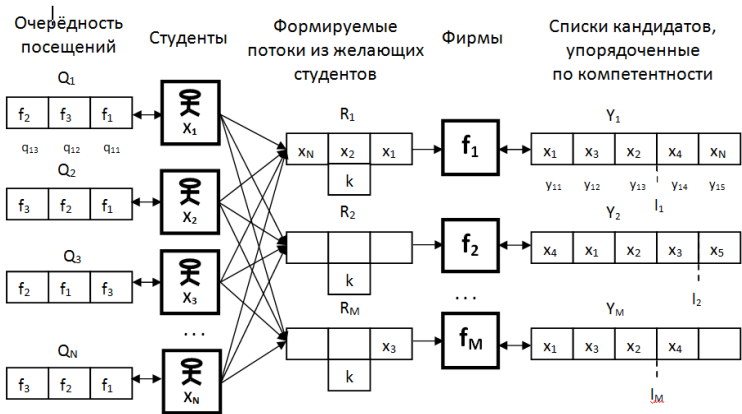


Рис. 2. Структурная модель динамической системы трудоустройства студентов на фирмы

Пусть планы приёма студентов на фирмы задаются множеством  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_M\}$ , где  $l_m$  – количество вакансий на  $m$ -й фирме ( $0 \leq l_m \leq N$ ). Введём множество последовательностей  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_M\}$ , в котором каждая  $Y_m$  определяет список кандидатов, отобранных в ходе тестирования студентов на фирме  $f_m$ . Каждая последовательность  $Y_m$  представляет собой множество студентов, упорядоченное по убыванию полученной ими оценки по тестированию. В каждой последовательности (упорядоченном множестве)  $Y_m = \{y_{m,1}, y_{m,2}, \dots, y_{m,N}\}$  элементы  $y_{m,n}$  состоят из студентов, входящих во множество  $X$ , т.е.  $y_{m,n} \in X$ . Из этого следует, что  $g_{k,m}(y_{m,i}) \geq g_{l,m}(y_{m,i+1})$ , если  $y_{m,i} = x_k, y_{m,i+1} = x_l, 1 \leq i \leq N - 1$ . В целом  $Y$  – это мультимножество, т.е. каждый студент  $x_n$  может успешно пройти тестирование на нескольких фирмах и таким образом принадлежать нескольким последовательностям  $Y_n$ .

Студенты и фирмы могут устанавливать пороговые значения по уровню привлекательности фирмы и уровню компетентности студента в виде множеств  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$  и  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_M\}$ , где  $p_n$  – минимально-допустимое значение привлекательности фирмы у  $n$ -го студента;  $d_m$  – минимально-допустимый уровень компетентности для соискателей на  $m$ -й фирме.

На каждом  $k$ -м цикле отбора студентов каждая фирма  $f_m$  принимает на входе соответствующий поток студентов  $R_m = \{r_{m,i} | r_{m,i} \in X\}$ , которые желают работать на фирме. Фирмы в своих списках кандидатов  $Y_m$  всем элементам  $y_{m,n} \in X$  из пересечения множеств  $R_m \cap Y_m$  приписывают priori

тет, равный номеру цикла  $k$ . Условимся, что чем меньше  $k$ , тем выше приоритет студента  $x_n$  в последовательности  $Y_m$ . Обозначим через  $p(y_{m,n})$  значение приоритета студента  $x_n$ , находящегося на месте  $y_{m,n}$  в последовательности  $Y_m$ . В ходе циклического процесса все студенты-кандидаты в мультимножестве  $Y$  получают свои значения приоритетов.

Таким образом, задача квазиоптимального распределения студентов на фирмы сводится к такой расстановке элементов  $y_{m,n} \in X$  в последовательностях  $Y_1, Y_2, \dots, Y_M$ , где

$$Y_m = \{x_n | (x_n \in X) \& (g_{n,m}(x_n) \geq d_m) \& (t_{n,m}(f_m) \geq p_n)\} ,$$

при которой минимизируются, во-первых, невыполнение заявок фирм на молодых специалистов с учётом сохранения ранжирования отобранных кандидатов по уровню их квалификации  $g_{n,m}(\cdot)$  и, во-вторых, сумма всех значений приоритетов  $p(y_{m,n})$  во множестве  $Y$  (оно должно быть уже не мультимножеством), гарантирующая рациональную расстановку студентов на основе приоритетов  $p(y_{m,n})$ , выражающих желания студентов через функцию  $t_{n,m}(\cdot)$

$$\sum_{m=1}^M (|Y_m| - l_m) \rightarrow \min_{y_{m,n} \in X, l_m \leq |Y_m|} ,$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{s_m} p(y_{m,n}) \rightarrow \min ,$$

$$\bigcap_{m=1}^M Y_m = \emptyset ,$$

где  $|Y_m|$  – мощность множества  $Y_m$ ;  $\cap$  – пересечение множеств;  $\emptyset$  – пустое множество;  $s_m$  – число кандидатов, принятых на  $m$ -ю фирму ( $s_m \leq l_m$ ).

## 2. Координируемое сотрудничество агентов

Моделирующая система трудоустройства студентов на фирмы является динамической, распределённой, интеллектуальной по характеру деятельности её компонент, что обуславливает возможность её моделирования методами теории многоагентных систем. Один из подходов к решению 2-й задачи (трудоустройство студентов на фирмы) может быть реализован средствами мультиагентных технологий в рамках виртуальной кафедры [Андрейчиков и др., 2006; Федяев, 2016]. Для облегчения взаимодействия между основными Агентами-студентами и Агентами-фирмами вводится дополнительный Агент-координатор, который реализует роль одного из сотрудников кафедры (например, заведующего кафедрой) (рис. 3). При координируемом сотрудничестве основные агенты могут передать Координатору некоторые функции согласования своих действий для того, чтобы он

выступил в роли арбитра в разрешении возникающих конфликтов (в находящемся компромиссе между интересами студентов и фирм).

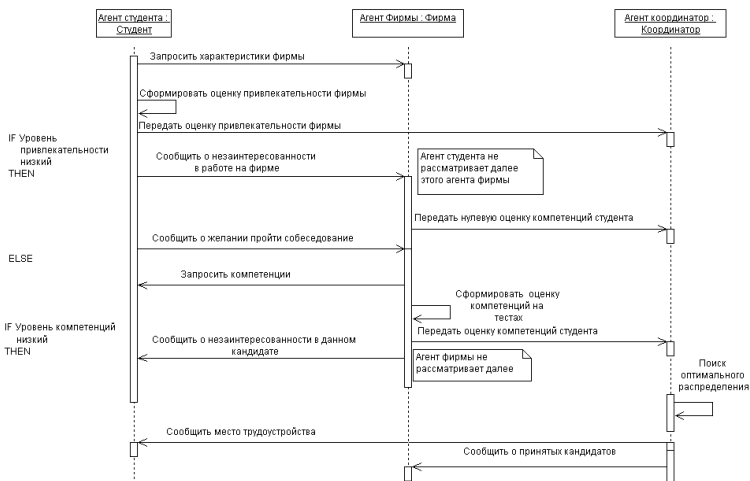


Рис. 3. Диаграмма взаимодействия агентов при координируемом сотрудничестве

В частности, рассматриваемую на последнем этапе взаимодействия агентов задачу поиска оптимального распределения студентов (см. рис.3) со всеми её ограничениями можно сформулировать как задачу о назначениях и её решение возложить на Агента-координатора.

### 3. Простое сотрудничество агентов при трудоустройстве

Рассмотрим решение 2-й задачи с помощью агентно-ориентированного подхода, который основывается на убеждениях, желаниях и намерениях только основных агентов (Студентов и Фирм) без привлечения дополнительных агентов для координации их действий.

Взаимодействие основных агентов реализует динамический процесс распределения студентов на фирмы. Состояния Агента-студента будем определять переменной  $v_n$ :  $v_n = 0$ , если студент ищет работу;  $v_n = 1$ , если студент принят на работу;  $v_n = -1$ , если студенту отказано в работе.

Перед началом моделирования устанавливаются исходные значения всех параметров многоагентной системы:  $k = 0, v_n = 0$ . Далее каждый Агент-студент получает цель «Трудоустроиться» и начинается динамическое взаимодействие агентов. Протокол взаимодействия агентов базируется на алгоритме Гейла-Шепли (алгоритм «отложенного согласия»), который авторами статьи адаптирован к многоагентному подходу [Железова, 2013].

Построенный протокол сотрудничества агентов формирует устойчивые паросочетания, которые гарантируют, что каждый студент найдёт для себя лучшую фирму, а каждая фирма примет наилучших студентов. В виде программы многоагентная система моделирования была реализована с помощью инструментальной среды Jason (рис.4) [Jason, 2017].

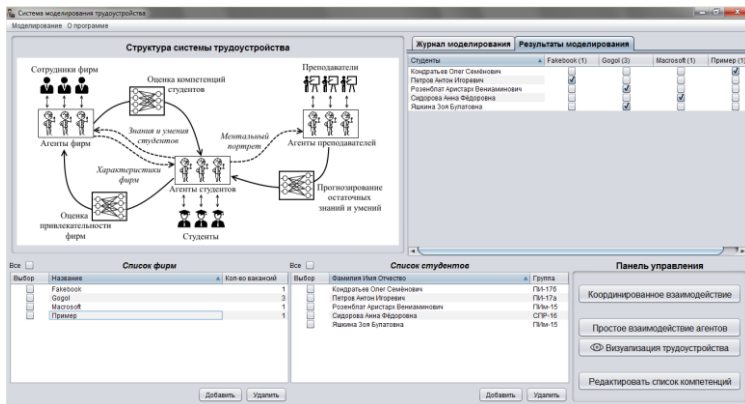


Рис. 4. Пользовательский интерфейс системы имитационного моделирования

Имитационное моделирование трудоустройства рассмотрим на примере 5 студентов  $x_n$  и 3 фирм  $f_m$ . Фирмы  $f_1$  и  $f_2$  имеют по одной вакансии, а фирма  $f_3$  – две вакансии. Исходные значения привлекательности фирм и оценки уровня знаний из диапазона  $[0, 1]$  приведены в табл. 1.

Табл. 1.

	$f_1$		$f_2$		$f_3$	
	Привлекательность	Компетенция	Привлекательность	Компетенция	Привлекательность	Компетенция
$x_1$	0,8	0,72	0,9	0,49	0,2	0,06
$x_2$	0,22	0,77	0,2	0,22	0,7	0,42
$x_3$	0,4	0,71	0,7	0,66	0,8	0,51
$x_4$	0,82	0,67	0,8	0,46	0,9	0,66
$x_5$	0,6	0,4	0,7	0,3	1	0,62

Динамика моделирования процесса трудоустройства показана на рис. 5. На шаге №1 четыре агента активизировались первыми и отправили запросы в самые привлекательные фирмы. На фирме  $f_3$  студенты  $x_4$  и  $x_5$  лучше всех по уровню компетенций, поэтому студенту  $x_3$  отказано в трудоустройстве. Тогда он идёт во вторую фирму по привлекательности и там он вытесняет студента  $x_1$ , у которого оценка уровня компетенций ниже, чем у студента

$x_3$ . На последнем шаге №3 у студента  $x_1$  уже нет привлекательных фирм, поэтому он оказался не трудоустроен.

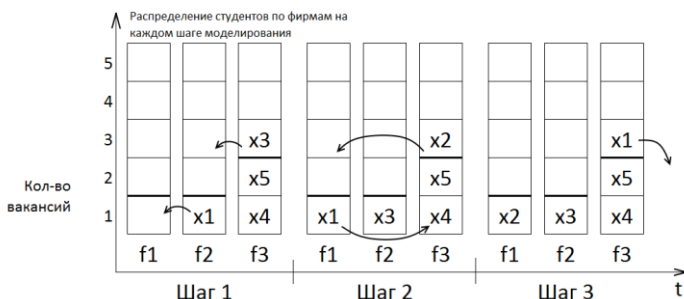


Рис. 5. Моделирование процесса трудоустройства студентов с помощью агентов, взаимодействующих по алгоритму Гейла-Шепли

## Заключение

Рассмотрена постановка задачи моделирования процесса трудоустройства студентов. Имитационная модель динамики распределения специалистов представлена совокупностью взаимодействующих агентов. Для каждого типа агентов формализованы его роли и протоколы взаимодействия. Предложен подход к реализации сотрудничества агентов при поиске компромиссного решения, в основе которого лежит принцип гомеостатического (равновесного) управления динамичной многоагентной системы.

## Список литературы

- [Андрейчиков и др., 2006] Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2006.
- [Железова, 2013] Железова Е., Измалков С., Сонин К., Хованская И. Теория и практика двусторонних рынков // Вопросы экономики, 2013, № 1.
- [Тарасов, 2002] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
- [Тельнов и др., 2015] Тельнов Ю.Ф., Данилов А.В., Казаков В.А. Применение многоагентной технологии для решения образовательных задач в информационно-образовательном пространстве // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. Сб. науч. тр. 18-й научно-практической конференции (ИПиУЗ-2015, 21-24 апреля 2015 г., Москва, МЭСИ). – М.: МЭСИ, 2015.
- [Федяев, 2016] Федяев О.И. Модель системы подготовки и трудоустройства специалистов на основе программных агентов с нейросетевой архитектурой // Труды XV Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. В 3-х т. Т. 2., Смоленск, 2016.
- [Jason, 2017] Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason – <http://jason.sourceforge.net/wp/>.

УДК 629.7.058

## НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ БОЛЬШОЙ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КАК СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ<sup>1</sup>

Д.А. Миляков (*from\_fn@mail.ru*)  
АО «Концерн «Вега», Москва

Предложен новый подход к групповому управлению беспилотными летательными аппаратами (БЛА) в больших группах при решении конкретных задач. Группа БЛА рассматривается как система с распределенными параметрами, являющимися функциями времени и координат. Состояние такой системы описывается дифференциальными уравнениями в частных производных. Представлены некоторые результаты исследований. Сделаны выводы о применимости предложенного подхода.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, группа БЛА, система с распределенными параметрами, траекторное управление, групповое управление, групповая робототехника, система группового управления, имитационное моделирование

### Введение

Развивающаяся групповая робототехника позволяет ставить и успешно решать задачи, с которыми одиночные объекты не справляются или справляются недостаточно хорошо. При этом разные подходы к управлению группами роботов обладают своими достоинствами и недостатками. Наиболее ярко эти особенности проявляются при групповом управлении беспилотными летательными аппаратами (БЛА).

В части управления группой БЛА возможно выделить два подхода.

Первый подход является классическим и заключается в рассмотрении группы как совокупности отдельных БЛА с сосредоточенными параметрами, в общем случае являющимися функциями времени. При этом для каждого БЛА как объекта управления формируются свои модель состояния

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-38-00967).

и сигналы управления. Такой подход наиболее очевиден и достаточно хорошо проработан. Среди многочисленных трудов можно выделить, например, [Каляев и др., 2009], [Моисеев, 2017]. Однако в приложении к очень большим и плотным группам объектов возникает проблема обеспечения их управляемости. Ее решение достигается за счет различных упрощений, например, разбиений и обобщений. В [Каляев и др., 2009] проблема управляемости в больших группах роботов решается различными вариантами кластеризации.

Второй подход к управлению группой БЛА предполагает ее рассмотрение как системы с распределенными во времени и пространстве параметрами.

Актуальность предлагаемого исследования обусловлена необходимостью решать сложные задачи траекторного управления с учетом обеспечения управляемости и предотвращения столкновений в группе многочисленных плотно расположенных БЛА. При этом система группового управления БЛА должна функционировать в реальном масштабе времени с приемлемой точностью.

Далее будет рассмотрен второй подход к управлению большой группой БЛА.

## **1. Группа БЛА как система с распределенными параметрами**

Следует отметить отсутствие известных авторам трудов, посвященных рассмотрению задач управления большими плотными группами физически не взаимодействующих объектов как системами с распределенными во времени и пространстве параметрами, являющимися функциями времени и пространственных координат. Следует упомянуть монографию [Зельдович и др., 1973], содержащую рассмотрение различных физических задач кинематики и динамики для системы из не взаимодействующих частиц, а также серию монографий [Бутковский, 1965; Моисеев, 2017; Рапопорт, 2003; Рапопорт, 2005; Рапопорт, 2009], посвященных рассмотрению управления только такими сплошными средами, которые заполняют пространство непрерывно, сплошным образом.

В связи с этим предлагается рассмотреть многочисленную группу плотно расположенных БЛА как сложную систему, состоящую из совокупности физически не взаимодействующих элементов среды, которую можно назвать средой БЛА. Состояние этой среды характеризуется функцией состояния, параметрами которой являются координаты и время. При этом используется аналогия с различными типами сплошных сред, для описания состояния которых применяются известные виды дифференциальных уравнений в частных производных.

Такая постановка задачи предопределяет необходимость использования положений математической и статической физики для получения уравнений, характеризующих соотношения между макроскопическими и микроскопическими характеристиками среды БЛА. В рамках такого подхода для среды БЛА введем следующие функции координат и времени: внутренний потенциал, плотность среды, а также давление в среде как функцию ее плотности. Уравнение состояния получается при рассмотрении всех найденных сил, действующих на элемент среды, ограниченный элементарным объемом. Использование элементов теории управления системами с распределенными параметрами позволяет получить для такой системы решение конкретной задачи управления с соответствующим алгоритмом управления всей средой БЛА.

В отличие от классического индивидуального управления оператором каждым БЛА, предполагающего наличие каналов связи (линии передачи команд управления) «оператор–БЛА», при таком подходе реализуется унифицированное управление всей средой БЛА целиком. При этом каждый БЛА самостоятельно формирует свой сигнал управления, чем исключается необходимость организации дополнительного канала связи для управления.

Целью работы является постановка и решение задачи разработки способа управления такой сложной системой при решении группой БЛА различных задач на примере решения задачи вывода БЛА на требуемую топологию, заданную известным законом отрезком или сферой.

При постановке задачи используются положения статистической физики и механики сплошной среды и реализуется следующий алгоритм.

Шаг 1. Сформировать закон описания требуемой топологии для среды БЛА.

Шаг 2. Сформировать внутренний потенциал среды как функцию координат, определяющий взаимодействие БЛА между собой.

Шаг 3. Сформировать плотность среды как функцию времени и координат.

Шаг 4. Сформировать давление среды как функцию плотности, определяющее связность элементов среды и их взаимодействие в отсутствие внешнего воздействия.

Шаг 5. Определить силы, действующие на элемент среды.

Шаг 6. Сформировать уравнение состояния элемента среды.

Шаг 7. Сформировать закон управления средой при решении заданной задачи.



## 2. Постановка и решение задачи

В общем случае для среды БЛА в каждый момент времени  $t$  в каждой точке с координатами  $(x, y, z)$ , состояние которой характеризуется функциями плотности  $\rho(t, x, y, z)$ , внутреннего потенциала  $U(x, y, z)$ , а также давления  $P(\rho)$ , уравнение состояния для малого элемента среды можно представить в следующем виде:

$$\mathbf{a} = \frac{\nabla U}{\Delta m} + \frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{u}, \quad (2.1)$$

где  $\mathbf{a}$  – вектор полного ускорения элемента среды БЛА, а  $\Delta m$  – его масса, определяемая соотношением

$$\Delta m = m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N, \quad (2.2)$$

где  $m_{\text{БЛА}}$  – условная масса единичного БЛА, а  $\Delta N$  – их количество в элементе среды;  $\nabla U$  – градиент внутреннего потенциала;  $\nabla P$  – градиент давления в среде;  $\rho$  – плотность среды, определяемая соотношением

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z}, \quad (2.3)$$

где  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  – приращения по соответствующим координатам, определяющие размеры элемента среды БЛА;  $\mathbf{u}$  – вектор управления элементом среды БЛА, обеспечивающее его выведение, на требуемую топологию.

Уравнение (2.1) может быть представлено системой дифференциальных уравнений следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{v}, \\ \dot{\mathbf{v}} = \frac{\nabla U}{\Delta m} + \frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{u}, \end{cases} \quad (2.4)$$

где  $\mathbf{p}$  – вектор координат,  $\mathbf{v}$  – вектор скорости и введены следующие обозначения векторов:

$$\mathbf{p} = [x \quad y \quad z]^T, \quad \mathbf{v} = [v_x \quad v_y \quad v_z]^T, \quad (2.5)$$

$$\nabla U = \left[ \frac{\partial U}{\partial x} \quad \frac{\partial U}{\partial y} \quad \frac{\partial U}{\partial z} \right]^T, \quad \nabla P = \left[ \frac{\partial P}{\partial x} \quad \frac{\partial P}{\partial y} \quad \frac{\partial P}{\partial z} \right]^T, \quad \mathbf{u} = [u_1 \quad u_2 \quad u_3]^T.$$

Для декартовой неподвижной системы координат с ортами  $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$  с учетом (2.5) система (2.4) может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{v}, \\ \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \left( \frac{1}{\Delta m} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + u_x \right) \mathbf{i} + \left( \frac{1}{\Delta m} \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + u_y \right) \mathbf{j} + \left( \frac{1}{\Delta m} \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + u_z \right) \mathbf{k}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Закон описания требуемой топологии задается аналитически уравнением (системой уравнений), позволяющим разрешить его относительно координат.

Таким образом, задача управления группой БЛА может быть сформулирована в следующем виде: для группы БЛА, состояние которой задается системой (2.6), необходимо найти закон управления, обеспечивающий построение требуемой топологии и ее целенаправленное перемещение в пространстве без столкновений при условии, что выполняются заданные ограничения.

Следует отметить, что внутренний потенциал  $U$  в (2.6) может быть выбран эмпирически, исходя из желаемого типа внутреннего взаимодействия в среде. В качестве таких потенциалов могут выступать как одночастичные, так и многочастичные потенциалы [Сарры и др., 2014], применяемые для адекватного представления взаимодействия частиц в различных средах. В статье таким потенциалом является парный (двухчастичный) потенциал Леннард–Джонса (потенциал 6-12) [Jones, 1924a; Jones, 1924b], имеющий вид

$$U(r) = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^6}, \quad (2.7)$$

где  $r$  – расстояние между центрами частиц, имитирующее парное взаимодействие в режиме «притяжение–отталкивание» не сталкивающихся неполярных молекул идеального газа без учета влияния остальных молекул;  $A$  – коэффициент, характеризующий отталкивание частиц на малых расстояниях;  $B$  – коэффициент, характеризующий притяжение частиц на больших расстояниях.

Потенциал вида (2.7) широко используется в расчетах и компьютерном моделировании различных многосоставных систем и является адекватным при решении рассматриваемой задачи.

### 3. Результаты моделирования

При моделировании в дискретном времени систем и процессов с характерным временем порядка  $2 \cdot 10^{-12}$  сек находит широкое применение молекулярная динамика [Холмуродов и др., 2003], позволяющая проследить эволюцию системы взаимосвязанных частиц и заключающаяся (в классическом представлении) в численной реализации решения уравнения

движения Ньютона (2.1) для множества частиц. При этом считается, что известны координаты центров всех частиц и суммарная сила, действующая на каждую частицу. А между собой они взаимодействуют по известному закону, который может быть задан, например, с помощью потенциала взаимодействия (2.7). Такой подход позволяет при программной реализации алгоритма управления средой БЛА перейти к реализации для каждого отдельного БЛА его сигнала управления.

В ходе исследования процесса управления средой БЛА в рамках решения задачи вывода исходной конфигурации группы БЛА в топологию типа «отрезок» и «сфера» было проведено моделирование соотношений (2.2), (2.3), (2.5)–(2.7). При этом задавалась некоторая  $\varepsilon$ -окрестность топологии, определяющая качество решения задачи. Нахождение всех БЛА в пределах этой  $\varepsilon$ -окрестности свидетельствует о том, что задача решена.

Предварительные результаты исследований представлены на рис. 1–3.

На рис. 1 проиллюстрировано решение задачи вывода группы БЛА на фиксированный отрезок группы из 125 БЛА при начальном разбросе по скоростям и направлениям полета внутри группы относительно «генерального» направления полета группы. Результаты моделирования свидетельствуют об успешном решении задачи. В процессе полета БЛА внутри группы не сталкиваются между собой и не выталкивают друг друга, что обеспечивается обусловленным (2.7) взаимодействием каждого БЛА со своими «соседями».

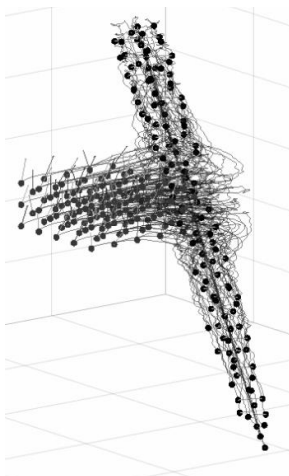


Рис. 1. Вывод группы БЛА на статический отрезок

На рис. 2 проиллюстрированы результаты исследования влияния переходных процессов внутри группы БЛА на качество решения задачи, в рамках которого требуемая топология подвергалась вращению и перемещению по некоторому заданному закону. Отрезками обозначены текущие расстояния от каждого БЛА группы до требуемой топологии.

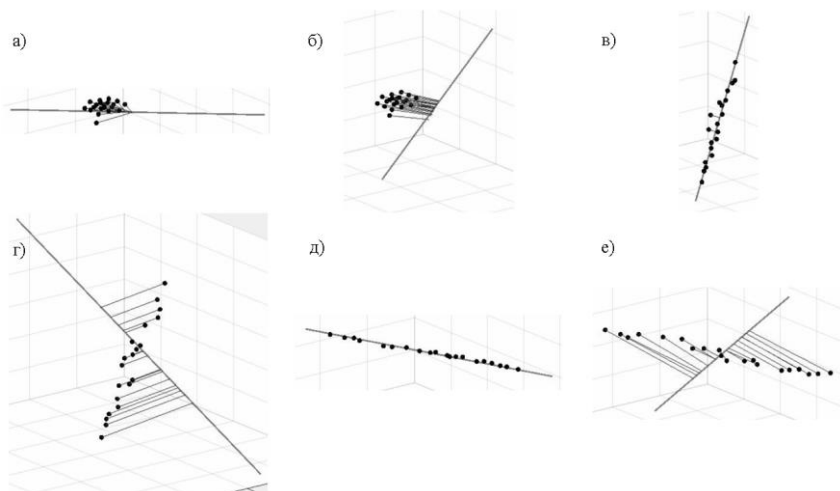


Рис. 2. Вывод группы БЛА на вращающийся отрезок

На рис. 3 проиллюстрированы результаты решения задачи вывода группы БЛА на топологию, заданную сферой, при тех же начальных условиях, что и в предыдущих случаях.

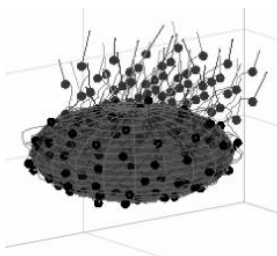


Рис. 3. Вывод группы БЛА на сферу

В целом результаты проведенных исследований подтвердили работоспособность и применимость предлагаемого подхода. При этом следует отметить, что дополнительные качественные и количественные требования к итоговой топологии группы БЛА могут быть обеспечены модификацией постановки задачи, например, как отмечено ранее, выбором  $\varepsilon$ -окрестности отрезка, для потенциала (2.7) – выбором коэффициентов  $A$  и  $B$ .

### Заключение

В работе осуществлена постановка задачи управления большой группой БЛА как системой с распределенными во времени и пространстве параметрами при решении строевой задачи. Оригинальность такого подхода заключается в возможности применения аппарата математической физики, теории оптимального управления и теории систем с распределенными параметрами для управления такой системой при решении различных задач, например, строевых. При этом параметры конкретного БЛА определяются с помощью функции состояния в зависимости от его координат и времени.

Разработана модель состояния среды БЛА и алгоритм управления при ее выведении на заданную топологию. Представлены некоторые результаты проведенного имитационного моделирования. Они позволяют сделать вывод о реализуемости и применимости предлагаемого подхода к управлению группой БЛА.

Дальнейшие исследования такой нестандартной постановки известной задачи будут направлены на получение нового качества решения проблемы обеспечения управляемости и высокой точности решения различных задач большими плотными группы БЛА.

### Список литературы

- [Бутковский, 1965] Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1965.
- [Зельдович и др., 1973] Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы математической физики среды из невзаимодействующих частиц. – М.: Наука, 1973.
- [Каляев и др., 2009] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009.
- [Моисеев, 2017] Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017.
- [Рапопорт, 2003] Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие – М.: Высшая школа, 2003.
- [Рапопорт, 2005] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2005.

- [**Рапопорт, 2009**] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2009.
- [**Сарры и др., 2014**] Сарры А.М., Сарры М.Ф. О многочастичном взаимодействии // Журнал технической физики, 2014, Т. 84, Вып. 4.
- [**Сиразетдинов, 1977**] Сиразетдинов Т.К. Оптимизация систем с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1977.
- [**Холмуродов и др., 2003**] Холмуродов Х.Т., Алтайский М.В., Пузынин И.В., Дардин Т., Филатов Ф.П. Методы молекулярной динамики для моделирования физических и биологических процессов. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2003, Т. 34, Вып. 2.
- [**Jones, 1924a**] Jones J.E. On the determination of molecular fields. – I. From the variation of the viscosity of a gas with temperature // Proc. the Royal Society. 1924. Vol. 106. Iss. 738.
- [**Jones, 1924b**] Jones J.E. On the determination of molecular fields. – II. From the equation of state of a gas // Proc. of the Royal Society. 1924. Vol. 106. Iss. 738.

УДК 004.896:621.865

## ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРОМ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ, ОСНОВАННОЕ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ<sup>1</sup>

В.Е. Павловский (*vpavl@mail.ru*)

Институт прикладной математики  
им. М.В. Келдыша РАН, Москва

А.В. Подопросветов (*llecxis@gmail.com*)  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, Москва

И.А. Орлов (*i.orlov@imash.ru, i.orlov@keldysh.ru*)  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,  
Институт прикладной математики  
им. М.В. Келдыша РАН, Москва

В работе рассматривается метод управления двухзвенным манипулятором с пневматическими приводами, имеющим трудно прогнозируемые или изменяющиеся физические параметры, что может быть обусловлено, например, воздействием внешней среды. Эти обстоятельства затрудняют создание системы управления традиционными способами. В данной работе строится нейронная сеть для решения обратной задачи динамики для управления манипулятором.

**Ключевые слова:** нейронная система управления, робастное управление, двухзвенный манипулятор

### Введение

Основные типы приводов для современных роботизированных устройств технологически производятся с известными или хорошо прогнозируемыми характеристиками. Знание характеристик приводов позволяют разработчикам синтезировать управление движением устройства с использованием классических методов теории автоматического регулирования.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-08-01441, 16-38-60201, 16-29-08406).

Однако такие методы плохо адаптированы для работы с пневматическими приводами, которые имеют значительную и плохо предсказуемую эластичность, вызванную сжимаемостью воздуха в полостях цилиндров и неоднозначную силу трения. Кроме того, трудно анализировать математическую модель, описывающую динамику пневматического привода. Эти обстоятельства затрудняют синтез системы управления традиционными способами.

В качестве простой экспериментальной модели с нелинейными параметрами, позволяющей в визуальной форме реализовать процесс управления на основе опыта взаимодействия с устройством, выбирается двухзвенный плоский манипулятор с пневматическим приводом.

Цель исследования состоит в том, чтобы создать систему управления на нейронной сети для манипулятора с пневматическими приводами. Ранее в работах авторов рассматривались нейро-подобные системы управления с не доказанной устойчивостью и повторяемостью. Настоящая работа посвящена применению нейронной аппроксимации функций к задаче управления манипуляторами. Задачей обучения приблизить неизвестную функцию, в зависимости от начальной и конечной позиции, вектор значений такой функции является время открытия клапанов в пневматической системе. Такая система управления требует длительного обучения. Чтобы не проводить длительное натурное обучение, используется динамическая модель робота для получения набора данных с достаточным объемом для обучения нейронной сети.

## 1. Описание манипулятора

В качестве экспериментальной базы используется манипулятор ManGo, который показан на рис. 1. Манипулятор тестируется на игровых задачах, таких как логическая игра Го.



Рис.1. Общий вид манипулятора ManGo



На рис. 1 показан двухзвенный манипулятор (его полная длина составляет 90 см), система технического зрения, реализованная на базе смартфона, который установлен в верхней части системы. Пневматический блок управления и управляющая электроника находятся в корпусе манипулятора. Датчики угла находятся в вращательных сочленениях манипулятора.

Кинематическая схема ManGo показана на рис. 2.

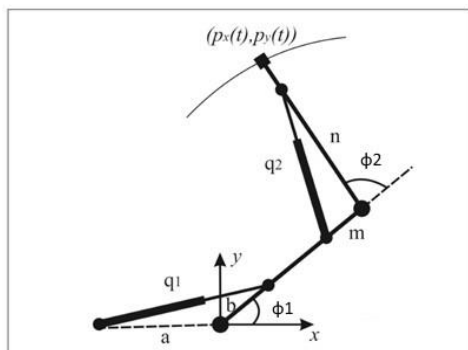


Рис. 2. Кинематическая схема манипулятора ManGo

Здесь  $q_1$  и  $q_2$  пневмоцилиндры,  $\phi_1$  и  $\phi_2$  – углы в сочленениях манипулятора,  $m$ ,  $n$  и  $a$ ,  $b$  – расстояния от точек крепления пневмоцилиндров до точек крепления звеньев. Во всех точках крепления стоят цилиндрические шарниры с одной степенью свободы.

### 1.1. Постановка задачи

Для описанного манипулятора задача может быть сформулирована следующим образом. Система управления из заданного начального положения должна перемещать манипулятор в любую заранее определенную точку на рабочей области с точностью не хуже 1 мм. Основные условия, которым должна удовлетворять система управления манипулятора, заключаются в следующем: она должна быть устойчива к изменяющимся факторам окружающей среды, таким как температура воздуха, эластичность пневматического оборудования или нелинейная фрикционная характеристика в пневматическом цилиндре.

### 1.2. Динамическая модель системы

Динамическая модель манипулятора построена с учетом следующих предположений:

- оси всех вращательных шарниров параллельны;
- центры масс звеньев находятся в их геометрических центрах;
- масса цилиндров мала;

- трение в пневматических цилиндрах и в цилиндрических шарнирах является значительным.

Предполагается также, что силы в пневматических цилиндрах при постоянных параметрах внешней среды (давление, температура, плотность воздуха) зависят только от времени.

Одним из способов описания динамической модели являются уравнения Лагранжа, которые могут быть представлены в виде:

$$M_{01} = \frac{1}{4}(\varphi_1''(8(J_{c1} + J_{c2}) + l_1^2 m_1) + 8J_{c2}\varphi_2'' + l_2\varphi_2'(2l_1 \cos(\varphi_2) + l_2) + m_2(\varphi_1''(4l_1^2 + 4l_1 l_2 \cos(\varphi_2) + l_2^2) - 2l_1 l_2 \varphi_2'^2 \sin(\varphi_2) - 4l_1 l_2 \varphi_1' \varphi_2' \sin(\varphi_2))), \quad (1.1)$$

$$M_{01} = \frac{1}{4}(8J_{c2}(\varphi_1'' + \varphi_2'') + l_2 m_2(\varphi_1''(2l_1 \cos(\varphi_2) + l_2) + 2l_1 \varphi_2'^2 \sin(\varphi_2) + l_2 \varphi_2'')),$$

где  $M_{01}$ ,  $M_{02}$  – моменты, возникающие в цилиндрических шарнирах, в точках крепления звеньев;  $l_1$ ,  $l_2$  – длины звеньев,  $J_{c1}$  и  $J_{c2}$  – моменты инерции звеньев;  $m_1$ ,  $m_2$  – массы звеньев. С другой стороны, моменты могут быть получены из уравнений равенства моментов в цилиндрических шарнирах (1.2),  $F_1$ ,  $F_2$  – силы создаваемые пневмоцилиндром,  $F_{fr}$  – сила трения в пневматическом цилиндре.

$$M_{01} = -\frac{ab \sin(\varphi_1) \cdot (F_1 - F_{fr}^1)}{\sqrt{a^2 + 2ab \cos(\varphi_1) + b^2}}, \quad (1.2)$$

$$M_{02} = -\frac{mn \sin(\varphi_2) \cdot (F_2 - F_{fr}^2)}{\sqrt{m^2 + 2mn \cos(\varphi_2) + n^2}}.$$

Для определения характерной функции силы трения проводился натурный эксперимент. Нет необходимости описывать все условия эксперимента. Для упрощения будет использоваться модель вязкого трения. В модели она представлена как:

$$F_{fr} = \frac{2}{1 + e^{-k_1 \varphi}} - 1. \quad (1.3)$$

Обобщенная модель содержит 3 блока уравнений (1.1), (1.2) и (1.3).

### 1.3. Пневматическая система

Из уравнения (1.2) пневматической системы необходимо получить силы  $F_i, i=1$ . Модель пневматической системы представлена на рис. 3, где  $V_1$ ,  $V_2$  – клапаны 3/2,  $C_1$  – дроссель (полностью открыт), 1 – источник постоянного давления, состоящий из компрессора и редуктора, 2 –

пневматический цилиндр. Он смоделирован в MATLAB Simscape на базе цилиндра 1280 MIR-INOX пневматического типа. Из этой модели находят значения давления в полостях цилиндра при перемещении штока.

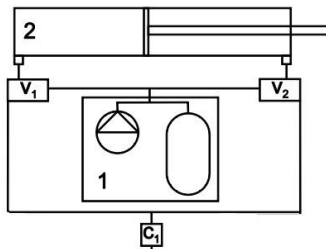


Рис.3. Пневматическая система

Для получения сил  $F_1$ ,  $F_2$  из формулы (1.2) используются уравнения (1.4). Они были получены эмпирически (рис. 3).

$$\begin{aligned} F_1 &= P_i \cdot S_i - P_o \cdot S_o - P_a(S_i - S_o), \\ F_2 &= P_i \cdot S_i - P_o \cdot S_o - P_a(S_i - S_o), \end{aligned} \quad (1.4)$$

где  $P_i$ ,  $P_o$  – давления в рабочей и выхлопной полостях пневмоцилиндра, (рабочая область – это область, в которую поступает воздух в данный момент, выхлопная – это область, в которую воздух не поступает),  $S_i$ ,  $S_o$  – площадь штока в соответствующей области пневмоцилиндра,  $P_a$  – атмосферное давление. После подстановки  $P_i$ ,  $P_o$  в (1.4) получают соответствующие силы  $F_1$ ,  $F_2$ . Их графики представлены на рис. 4.

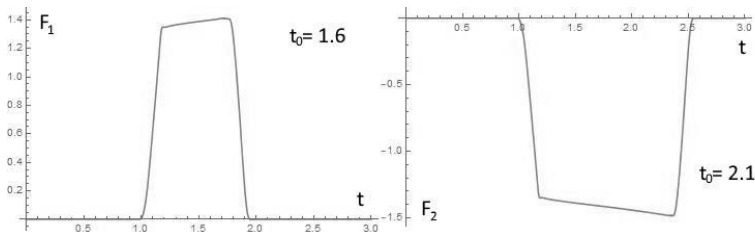


Рис. 4. Силы в пневматическом цилиндре при движении слева направо и при движении справа налево

Задача состоит в том, чтобы получить функцию  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$  для любого возможного  $t$ . В результате после подстановки (1.4), (1.1), (1.3) в уравнение (1.2) его можно разрешить и получить траекторию движения. Эта модель реализуется в Wolfram Mathematica.

## 2. Нейронная система управления

Решение уравнения (1.2) есть функция  $\varphi_i(t, F_i)$ ,  $i = 1, 2$ . Задача состоит в том, чтобы построить решение для любого  $F_i(t|_{[0, t_0]})$ , где  $t_0 \in [0, 2.4]$ . Нейронная сеть построена для решения «обратной» задачи динамики. Для построения позиционного управления необходимо в крайнюю точку траектории  $\varphi_i(t, F_i)$  с заданной точностью.

### 2.1. Структура нейронной сети

Возможности нейронных сетей для идентификации, наблюдения и управления нелинейными системами были исследованы как в изолированной, так и во внешней среде [Fierro, 1998; Cheng, 2009; Chiman, 1998]. Хорошо известно, что трехслойные нейронные сети с достаточно большим количеством нейронов скрытого слоя или с двумя скрытыми слоями хорошо способны аппроксимировать нелинейные зависимости. Для упрощения задачи нейронная сеть строится для каждого из звеньев в отдельности.

На основе ниже описанного теста было выбрано следующее строение нейронной сети:

- 2 входных нейрона – начальное и конечное положение системы;
- 50 нейронов 1-го скрытого слоя с функциями активации ReLU;
- 50 нейронов 2-го скрытого слоя с функциями активации ReLU;
- 1 выходной нейрон для определения функции силы  $F_i(t|_{[0, t_0]})$ .

### 2.2. Обучение нейронной сети

Помимо больших временных затрат на поиск всех воздействующих факторов на систему, длительное время занимает сбор данных из динамических уравнений для обучающей выборки, так как для каждого времени открытия клапана существует точка, в которую придет манипулятор. Её поиск численными методами WM занимает в среднем до 1 мин без распараллеливания на GPU при мощности компьютера 0,016 терафлопс. Для тестирования нейронной сети, до получения обучающей выборки с динамических уравнений, проведем обучение и выбор структуры нейронной сети на функции косинуса. Тест состоит в том, чтобы нейронная сеть выдавала функцию  $F \rightarrow \cos(\varphi)$ . Другими словами, для каждого значения функции косинуса на входе и на выходе должен быть аргумент этой функции.

Обучающая выборка получена из нормального распределения аргументов на сегменте  $(0, \pi)$ , насчитывает 1000 точек. При необходимой точности 0,01 нейронная сеть показывает точность в 0,00136.

Метод обучения нейронной сети – стохастический градиентный спуск с линейной скоростью обучения, которая инвариантна по диагональному перераспределению градиентов. Функция потерь представлена как средний квадрат разности между входным и выходным сигналами.

Для обучения нейронной сети на системе динамических уравнений используется следующая процедура:

- конечная функция делится на 100 равных отрезков;
- из каждого отрезка берется начальная, конечная и две случайные точки на отрезке для обучающей выборки;
- точность сети проверяется на восьми точках на каждом отрезке;
- при не удовлетворительной точности на каком-либо отрезке обучающая выборка пополняется удвоенным количеством точек из каждого такого отрезка;
- проводится «дообучение» нейронной сети повторением последних трех пунктов. Данный итеративный процесс повторяется до получения удовлетворительной точности на всех отрезках.

Результаты аппроксимации представлены на рис. 5.

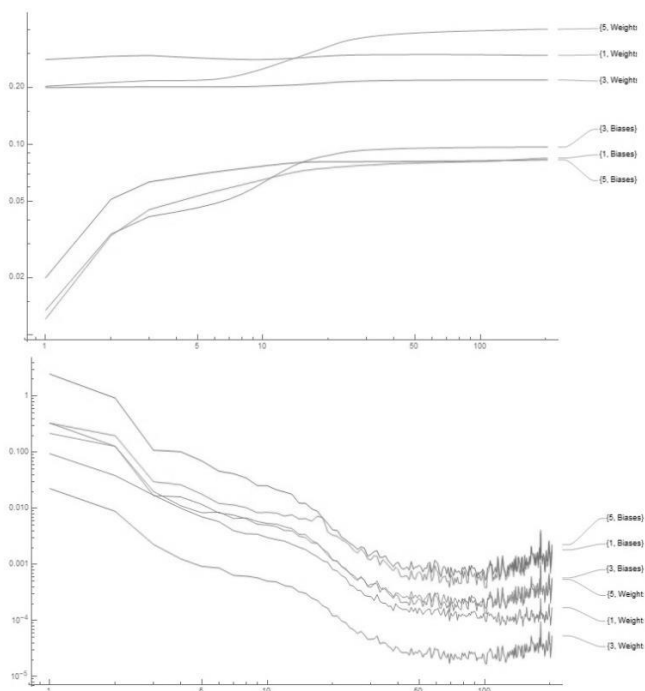


Рис.5. График изменения весов связей и весов градиентов

Как и следовало ожидать, нейронная сеть приближает решение динамических уравнений с ошибкой менее чем 0,01 в обобщенных координатах (рис. 6), что соответствует 0,06 мм в абсолютных координатах.

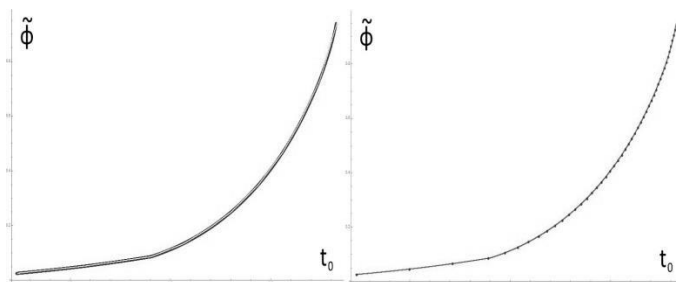


Рис. 6. Результаты экспериментального определения точности определения приближенного решения динамических уравнений с использованием нейронной сети

## Заключение

Динамическая модель двухзвенного плоского манипулятора ManGo построена на базе уравнений Лагранжа 2-го рода в Wolfram Mathematica. Оценены силы, развиваемые пневмоцилиндрами, с использованием построенной в системе MATLAB модели. Предложена система управления, основанная на нейронной сети, которая обучена на наборе данных, полученных с использованием разработанной динамической модели. Построенная система управления обеспечила точность манипулятора не хуже 1 мм в линейных координатах. Алгоритмы обучения апробированы на компьютерной модели. Можно сделать вывод, что предлагаемая модель и алгоритм обучения успешно решают проблему управления манипуляторами описанного типа.

## Список литературы

- [Cheng, 2009] Cheng L., Hou Z.-G., Tan M., Adaptive neural network tracking control for manipulators with uncertain kinematics, dynamics and actuator model // *Automatica*. 2009. Vol. 45.
- [Chiman, 1998] Chiman K., Lewis F.L., Dawson D.M. Robust neural-network control of rigid-link electrically driven robots // *IEEE Transactions on Neural Networks*. 1998. Vol. 9.
- [Fierro, 1998] Fierro R., Lewis F.L. Control of a nonholonomic mobile robot using neural networks // *IEEE Transactions on Neural Networks*. 1998. Vol. 9.
- [Pavlovsky, 2017] Pavlovsky V., Podoprosvetov A., Smolin V., Quasistatic model of the mango manipulator with neural-like control // *Proc. Neuroinformatics-2017, Russia*, 2017.

---

СЕКЦИЯ 3 | ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И  
УПРАВЛЕНИЯ

УДК 004.08:004.02

АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ  
ПРИ РЕШЕНИИ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ  
ЗАДАЧ<sup>1</sup>

А.Ф. Берман (*berman@icc.ru*)

О.А. Николайчук (*nikoly@icc.ru*)

Г.С. Малтугьева (*gama@icc.ru*)

А.Ю. Юрин (*iskander@icc.ru*)

Институт динамики систем и теории управления  
им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск

В работе предлагается концепция метода согласования мнений (знаний) при решении мультидисциплинарных задач на основе онтологической модели проблемной области, а также методов группового выбора. В результате работы метода формируются модель мультидисциплинарной задачи и ее решение, согласованные экспертами различных предметных областей. Модель задачи описывает понятия, закономерности предметной области и методы ее решения.

**Ключевые слова:** проблемная онтология (онтология задач), модель задачи, мультидисциплинарность, методы группового выбора

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-07-01164, 18-08-00560).

## Введение

Решение мультидисциплинарных задач требует использования и обработки огромных объемов данных и знаний различных научных дисциплин. Дисциплины характеризуются разнородностью информации и алгоритмов ее обработки, разной степенью формализации и изученности предметных областей, уровнем подготовки пользователей в области информационных технологий, а также в областях смежных дисциплин.

Указанная проблема перекликается с задачами достижения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации [Аронов и др., 2015], систем поддержки принятия групповых решений (СППГР), коллективного интеллекта [Levy, 2003], виртуальных гетерогенных коллективов [Колесников и др., 2015]. Отличие настоящей работы, это уделение особого внимания мультидисциплинарности (как следствие – необходимость объединения специалистов различных предметных областей) и обеспечению возможности использования всей доступной гетерогенной информации для решения сложных задач (необходимость динамического обеспечения представления и обработки данных видов информации), когда возникает необходимость коллективного обсуждения на этапах постановки частных задач, выбора методов их решения, обсуждения полученных решений для решения общей задачи.

Для автоматизации решения данной проблемы предложены онтологическая модель организации единого мультидисциплинарного информационного пространства [Берман и др., 2017a] и алгоритм самоорганизации процесса принятия решений [Берман и др., 2017b] в рамках системы:

$$DSS = (E, Dt, Knl, Ont, P, \hat{P}, Slv, Crd, R_{DSS}, Ind, Pln, UI), \quad (0.1)$$

где  $E$  – эксперты,  $Dt$  – базы данных,  $Knl$  – базы знаний,  $Ont$  – онтология предметной и проблемной областей,  $Ont \rightarrow \{P, \hat{P}, Dt, Knl, R_{DSS}\}$ ,  $P$  – задачи,  $\hat{P}$  – иерархия задач,  $Slv$  – «решатели»,  $R_{DSS}$  – отношения между компонентами  $DSS$ , в частности, между экспертами и задачами, между задачами, между задачами и «координаторами», между задачами и «решателями»,  $Crd$  – «координаторы» задач,  $Ind$  – индикаторы состояния  $DSS$ ,  $Ind = \{I^{DefP}, I^{SP}, I^{Un}\}$  – множество индикаторов формулировки, состояния, неопределенности задачи,  $Pln$  – планировщик, реализующий самоорганизующийся алгоритм  $SAIlg$  решения мультидисциплинарной задачи на основе локальных правил  $LRule$ ,  $UI$  – интерфейс пользователя.

Необходимость объединения усилий экспертов из самых различных предметных областей (дисциплин) при постановке и решении мультидисциплинарных задач обуславливает актуальность задачи согласования их



мнений (знаний). Данную функцию в системе реализуют «координаторы» задач *Crd*. Задача согласования мнений относится к типичной задаче теории принятия решений, когда необходимо коллективом выделить один или несколько лучших объектов (элементов постановки задачи), характеризующихся многими разнородными признаками. Существует сравнительно немного методов группового упорядочения многопризнаковых объектов [Петровский, 2009]. Отметим методы вербального анализа решений (АРАМИС, ЗАПРОС и др.), которые решают слабоструктурируемые проблемы выбора, где предпочтения нескольких лиц, принимающих решения (ЛПР), могут быть несогласованными и которые позволяют: получать информацию от экспертов на привычном для их профессиональной деятельности языке; использовать нечисловую информацию без каких-либо ее преобразований в числовую; проверять согласованность суждений ЛПР и устранять выявленные противоречия; объяснять полученное решение [Петровский, 2009].

Далее будут рассмотрены модель онтологии, определяющая модель задачи, и алгоритм согласования мнений экспертов на основе данной онтологии и методов группового выбора.

## 1. Модель онтологии мультидисциплинарной задачи

Предлагаемая модель онтологии (*Ont*) использует понятия онтологий предметной и проблемной областей [Гаврилова и др., 2016], [Studer, 1998], [Chandrasekaran, 1999].

Модели проблемной области охватывают знания о способах решения разнообразных типов задач. При этом, для эффективного решения каждой задачи требуется адекватное представление данных и знаний, а также алгоритмы, реализующие решение. Формальное описание онтологии задач предложено в [Берман и др., 2017а] и имеет вид:

$$Ont^{Problem} = \langle PN, BT\_P, Goal, CN^P, L^P, MN, R^P \rangle, \quad (1.1)$$

$$Ont^{Problem} R_{use}^{Ont} Ont^{Method}, Ont^{Problem} R_{use}^{Ont} Ont^{Subject},$$

где  $Ont^{Problem}$  – онтология проблемной области,  $PN$  – множество задач;  $Goal$  – цель задачи,  $CN^P$  – понятия задачи,  $Input^P \cup Output^P \subseteq CN^P$ ,  $Input^P$  – входные (исходные) данные и знания задачи,  $Output^P$  – выходные данные и знания, полученные в результате решения задачи,  $MN$  – имена методов;  $L^P$  – закономерности задачи,  $R^P$  – отношения между задачами и понятиями, закономерностями, методами,  $R^P \subset R_{has}$ ,  $R_{has}$  – отношение «имеет частью»,  $R_{use}^{Ont}$  – отношение использования, в данном случае озна-

чает, что одна онтология использует для своего определения другую онтологию, т.е. онтология задач для определения своих компонентов использует понятия онтологий методов и дисциплин.

Онтология методов предназначена для описания методов без учета информации о предметной и проблемной областях. Фактически данная онтология описывает типы методов, которые в дальнейшем могут использоваться при создании проблемной онтологии и онтологии приложения:

$$Ont^{Method} = \langle MN, BT\_M, Input^M, Output^M, L^M, Alg, Soft, Q, R^M \rangle, \quad (1.2)$$

где  $Ont^{Method}$  – онтология методов,  $MN$  – имя метода,  $BT\_M$  – базовые методы онтологии,  $Input^M$  – исходные данные и знания метода,  $Output^M$  – выходные данные и знания, полученные в результате применения метода,  $L^M$  – закономерности, определяемые методом,  $Alg$  – алгоритм метода,  $Soft$  – множество программного обеспечения, реализующего методы,  $Q$  – множество показателей, описывающих качество метода, например, скорость, точность, экспертные предпочтения,  $R^M$  – множество отношений, задающие соответствие между: методом и закономерностями, методом и понятиями, методом и реализующим его алгоритмом, базовым методом и реализующим его программным обеспечением, соответственно. Уточним описание алгоритма:

$Alg = (Item, R^A)$ ,  $Item = (NItem, BT\_Item, BT\_P, BT\_M)$  – этапы алгоритма,  $NItem$  – имя этапа,  $BT\_Item$  – базовые типы этапов алгоритма, включающие этап задач, решаемых базовыми методами, этапы типа цикла, условия, агрегации и разделения,  $BT\_P$  – базовый тип задачи,  $R^A$  – множество отношений между этапами алгоритма: последовательности, цикличности, агрегации, разделения и условия соответственно, данные отношения дополняют множество типовых отношений.

Для описания аспекта мультидисциплинарности задач предлагается использовать онтологию дисциплин, отражающую данные, относящиеся к рассматриваемой дисциплине, ее понятия, закономерности, задачи:

$$Ont^{Subject} = \langle SN, CN^S, P^S, MP^S, L^S, R^S \rangle,$$

где  $SN$  – наименование дисциплины,  $P^S$  – задачи дисциплины, которые могут иметь подзадачи базового типа,  $MP^S$  – мультидисциплинарные задачи, выделенные в вид задач, использующих онтологии различных дисциплин,  $CN^S$  – множество понятий дисциплины,  $L^S$  – описание закономерностей, постулируемых дисциплиной,  $L = (CN^L, R^D, LF, LL)$ ,

$LF : (CN^L, R^D) \rightarrow LL$ ,  $CN^L$  – множество понятий, используемых для описания закономерностей,  $LF$  – правила отображения элементов онтологии

на формальный язык  $LL$ ,  $R^S$  – множество отношений между дисциплинами, понятиями, задачами и закономерностями.

Предложенная модель обеспечивает представление и хранение информации о мультидисциплинарных задачах.

## 2. Алгоритм согласования знаний

Алгоритм самоорганизации процесса решения мультидисциплинарной задачи ( $SAlg$  из (0.1)) позволяет осуществлять мониторинг состояния задачи и генерирует план решения на основе значений индикаторов ( $Ind$ ) (потенциальных функций), характеризующих состояние текущей задачи, и локальных правил, являющихся основой самоорганизующегося поведения.

Перечислим индикаторы (в совокупности определяют агрегированный индикатор), отражающие состояние задачи и независимые от ее предмета ( $Ind$ ):

- индикатор решенности задачи ( $I^{SP}$ ), отвечающий за состояние решения задачи, которая может быть решена, не решена или частично решена;
- индикатор неопределенности элементов задачи ( $I^{Un}$ ). Он означает, что у задачи могут быть неточности, неопределенности, обусловленные новыми представлениями со стороны специалистов других дисциплин, касающиеся использования тех или иных данных, знаний (причинно-следственных связей), методов решения;
- индикатор стадии формулировки новой задачи ( $I^{DefP}$ ). Он имеет место на стадии разрешения неопределенности и означает нахождение задачи либо на стадии обсуждения, либо означает, что формулировка задачи завершена.

Индикатор неопределенности как раз отражает агрегированное мнение коллектива о состоянии элементов задачи. Описание алгоритма его формирования является целью работы.

Для понимания места алгоритма согласования в процессе решения задачи приведем содержание локального правила ( $LRule$ ), формирующего индикатор. Если имеется неопределенность, то запускаются алгоритмы по снижению (разрешению) выявленной неопределенности в зависимости от вида неопределенной информации.

- Неопределенность исходных данных ( $Input^P$  из (1.1)), возникающая, когда специалист другой дисциплины, ранее не участвующий в формировании задачи, считает, что при формулировке задачи не учтены некоторые дополнительные данные. В этом случае система создает новую формулировку задачи и обеспечивает возможность ввода но-

вых данных в структуру задачи. Новая задача находится в стадии обсуждения, пока координатор ее решения не одобрит постановку задачи на основе результатов обсуждения со всеми специалистами, привлеченными к ее решению, в том числе и специалистами, поставившими вопрос о необходимости использования дополнительных данных (возникновение неопределенности). Затем осуществляется попытка решения задачи с новыми данными. В результате решения возможна ситуация, когда существующие методы решения рассматриваемой задачи не адекватны новой постановке, тогда возникает неопределенность знаний ( $L^P$ ) и переход к снятию этой неопределенности. Если же новая постановка задачи получила одобрение, то она заменяет предыдущую постановку задачи.

- Неопределенность знаний ( $L^P$ ), которая возникает тогда, когда специалисты других дисциплин считают, что при формулировке задачи не учтены некоторые закономерности аналитического или другого вида. В этом случае система создает новую формулировку задачи на основе существующей и предлагает возможность ввода новых знаний в структуру задачи. Новая задача находится в стадии обсуждения до разрешения неопределенности.
- Неопределенность методов ( $MN$ ) возникает тогда, когда специалист другой дисциплины считает, что при решении задачи могут быть использованы другие возможные методы ее решения. В этом случае система предлагает специалисту описать новый метод решения задачи и указать либо существующее средство (*Soft* из (1.2)), реализующее метод, либо указать новое средство. Формулировка нового метода находится в стадии обсуждения до разрешения неопределенности.

Для выявления особенностей алгоритма согласования при разрешении перечисленных неопределенностей сформулируем основные принципы взаимодействия экспертов.

- Эксперты могут предлагать изменения по данным, закономерностям, методам и средствам (возможные действия: изменить, добавить, удалить) любой задачи.
- Эксперты должны аргументировать свои предложения (аргументация на основе опыта, эксперимента, теоретических обоснований). Аргументация должна сохраняться и в дальнейшем обрабатываться и использоваться повторно.
- Эксперты должны иметь возможность задать уточняющие вопросы. Диалог должен быть доступен для всей группы экспертов.
- Группа экспертов должна оповещаться обо всех изменениях в формулировке задачи.

- Согласование мнений должно иметь итеративный характер, т.е. обсуждение осуществляется до момента, когда будет выполнен некий критерий (например, критерий большинства).
- Заключением обсуждения является опрос экспертов о согласии с изменениями.

Разрешение перечисленных неопределенностей на основе указанных принципов предлагается организовать в виде алгоритма (рис. 1) и совокупности методов (средств), обеспечивающих оценку компетентности экспертов и согласование их мнений (знаний).

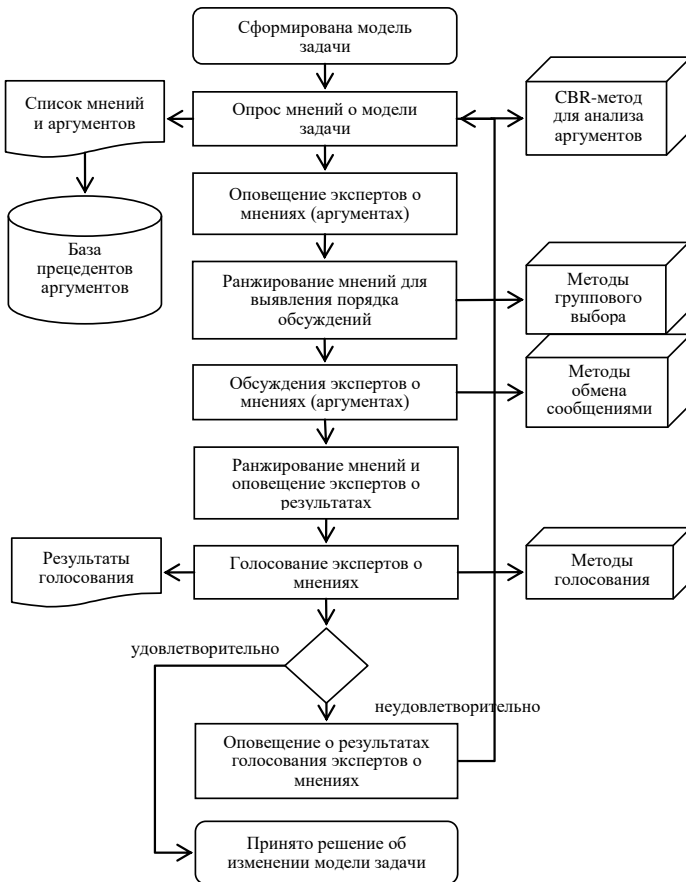


Рис. 1. Алгоритм согласования мнений экспертов при разрешении неопределенностей

### **3. Пример применения алгоритма для согласования знаний**

Пусть необходимо определить механизм (условия) возникновения деградационного процесса (ДП) в виде правила. Нам известны виды ДП и факторы, характеризующие некоторую механическую систему и условия ее эксплуатации. Необходимо согласовать мнения экспертов (возможно, представителей различных дисциплин), какие именно факты обуславливают заданный ДП и будут включены в правило.

Согласование знаний осуществляется последовательно в соответствии со структурой знаний в правилах.

Уровень 1 – согласование фактов, которые должны быть учтены при построении левой части правил («условие») при этом между фактами возможно наличие только операции «И».

Уровень 2 – формирование согласованного перечня параметров, влияющих на каждый факт.

Уровень 3 – согласование шкал (значений) по каждому из параметров.

С целью сокращения нагрузки на эксперта предлагается максимально автоматизировать процесс согласования, оставив экспертам право согласиться с полученными результатами или отклонить их.

Рассмотрим более детально процесс согласования. На первом уровне каждый эксперт высказывается относительно фактов, которые необходимо учесть, при этом предоставляет аргументацию. На основании выдвинутых аргументов и компетенции эксперта формируется тройка вида <факт, оценка аргумента, оценка компетентности>, далее для каждого факта строится мультимножество и с помощью метода АРАМИС определяется агрегированная оценка, в результате выполняется ранжирование фактов в соответствии с их оценками. Данное упорядочение предъявляется экспертам для утверждения/отклонения перечня фактов, которые необходимо учесть. Результаты голосования обрабатываются по принципу простого большинства голосов. На втором уровне и третьем уровне предлагается по такой же схеме согласовывать параметры фактов и их значения.

### **Заключение**

Представленные результаты позволяют организовать согласование мнений (знаний) экспертов из различных предметных областей при формализации постановки и решении мультидисциплинарных задач.

### **Список литературы**

[Аронов и др., 2015] Аронов И.З., Максимова О.В., Зажигалкин А.В. Исследование времени достижения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации на основе регулярных марковских цепей // Компьютерные исследования и моделирование, 2015, Т. 7, № 4.

- [Берман и др., 2017а] Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. Метод приобретения мультисциплинарных знаний на основе онтологии // VII Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», САИТ – 2017 (13-18 июня 2017 г., Светлогорск, Россия): Труды конференции. – М.: ИСА РАН, 2017.
- [Берман и др., 2017б] Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. Самоорганизующийся алгоритм формирования решений для обеспечения требуемого технического состояния сложных опасных объектов // VII Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», САИТ – 2017 (13-18 июня 2017 г., Светлогорск, Россия): Труды конференции. – М.: ИСА РАН, 2017.
- [Гаврилова и др., 2016] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. – СПб.: Лань, 2016.
- [Колесников и др., 2015] Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В., Румовская С.Б. Виртуальные гетерогенные коллективы, поддерживающие принятие решений // Системы и средства информатики, 2015, Т. 25, № 3.
- [Петровский, 2009] Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
- [Chandrasekaran, 1999] Chandrasekaran B., Josephson J.R., Benjamins V.R. Ontology of Tasks and Methods // IEEE Intelligent Systems. 1998. 14(1).
- [Levy, 2003] Levy P. Frequently asked questions about collective intelligence. – <http://web.archive.org/web/20030215235346/http://www.collectiveintelligence.info/cifaq.htm#top>.
- [Studer, 1998] Studer R., Benjamins R., Fensel D. Knowledge Engineering: Principles and Methods // Data and Knowledge Engineering. 1998. 25(1–2).

УДК 621.311:658.26:550.8

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ<sup>1</sup>

Г.Б. Бурдо (*gbtms@yandex.ru*)

Б.В. Палюх (*gbtms@yandex.ru*)

Н.А. Семенов (*gbtms@yandex.ru*)

Тверской государственной технической университет, Тверь

В работе изложены результаты исследования автоматизированных систем управления качеством продукции в многономенклатурном машиностроительном производстве. В статье уделяется внимание принципам выбора критериев оценки качества изделия, представлен комплекс критериев оценки качества, разработанный на основе данных принципов. Показаны модели принятия решений в автоматизированной системе. Работа выполнена на основании методологий жизненного цикла, нечетких множеств и теории систем.

**Ключевые слова:** управление качеством, машиностроение, критерии качества изделия в машиностроении, поддержка принятия решений

### Введение

Качество продукции является важнейшим фактором, влияющим на конкурентоспособность предприятия. Поэтому, с целью управления качеством продукции на всех этапах жизненного цикла изделия, необходимо создавать системы управления качеством продукции, функционирование которых определяется стандартами [ГОСТ Р ИСО 9001-2008, 2001; ГОСТ 2.103-68, 1996; ГОСТ 2.1102-81, 1995]. Если в недалеком прошлом для достижения желаемого уровня качества продукции, было достаточно контролировать его на отдельных этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ), то в настоящее время для обеспечения качества продукции необходимо управлять качеством [Гличев, 2001; Дитрих, 1981; Колчин, 2002; Конти, 2005; Масааки, 2005; Vernus, 2006] на каждом этапе и стадии ЖЦИ (рис. 1). Имеющиеся в

---

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



настоящее время в распоряжении машиностроительных предприятий программные средства обеспечивают лишь отражение деятельности подразделений предприятий по обеспечению качества продукции на основных этапах жизненного цикла изделия. Принятие решений выполняется коллективом рабочей группы по разработке проекта в процессе совещаний на основе собственных представлений о качестве изделия. Особенно затруднена оценка качества для новых образцов продукции, критерии оценки которых не вполне известны.

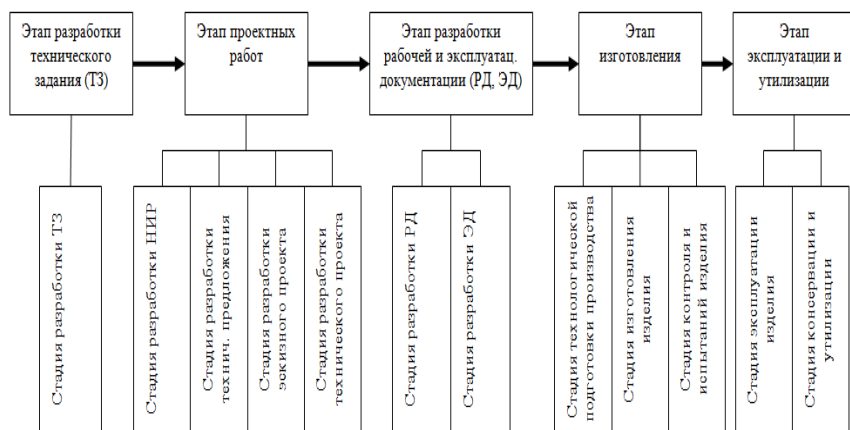


Рис 1. Основные этапы и стадии ЖЦИ

## 1. Общие принципы выбора критериев оценки качества

Для управления качеством изделия необходимы данные о состоянии качества продукции на протяжении всего ЖЦИ. Такими данными выступают критерии оценки качества изделия. Важным становится рациональный выбор критериев, случайный подбор критериев может привести к необоснованным решениям. Следует помнить, что каждый критерий будет служить не только основой оценки, но и служить в качестве базы для выработки управляющих воздействий на проектно-конструкторскую и производственную деятельность. Вследствие этого подбор критериев должны основываться на следующих принципах, полученных на основе анализа деятельности исполнителей на этапах ЖЦИ.

1. Комплекс критериев качества должен соответствовать принципам серии стандартов ИСО 9000. Комплекс критериев качества продук-

ции является частью всей системы управления качеством предприятия. Поэтому, как и ней, комплекс критериев должен соответствовать целям серии стандартов ИСО 9000 (преемственность систем).

- Иерархическая структура [Месарович, 1978] критериев качества должна соответствовать иерархии системы управления качеством (исходя из принципа наследственности производных систем). При несоответствии структуры критериев качества структуре системы возникает отделение комплекса критериев качества от неё, становится непонятно, где какие критерии применяются. В данном случае была рассмотрена система управления качеством с иерархической структурой, поэтому и структура критериев качества носит иерархический характер (рис. 2).

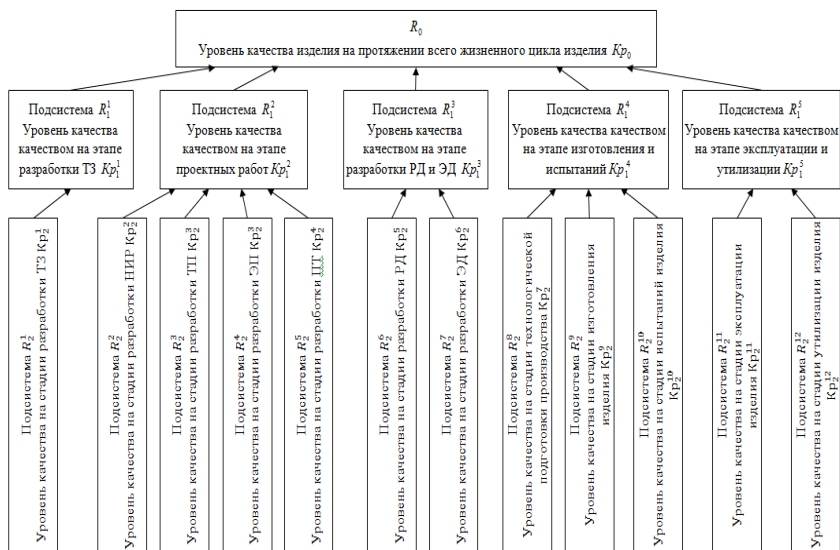


Рис. 2. Иерархическая структура критериев качества изделия

- Комплекс критериев должен быть понятным каждому пользователю системы. Работнику предприятия должно быть понятно, какой именно результат работы от него ожидают, поэтому должна быть соблюдена определенная терминология.
- Комплекс критериев должен давать возможность однозначного обоснования и понимания. Недопустимо чтобы критерии качества каждый работник предприятия понимал и применял по-своему, поэтому не должно быть избыточности информации.

5. Комплекс критериев должен быть адекватным оцениваемой технической системе и непротиворечивым. Система измерения критерия должна соответствовать системе измерения показателей изделия. Критерии на всех этапах ЖЦИ и уровнях должны быть логически увязаны.
6. Количество критериев должно быть минимальным и достаточным для объективной оценки качества изделия системой управления качеством. Количество критериев не должно быть избыточным, большое количество критериев приведет к трудностям в восприятии.
7. Комплексность критериев. Качество изделия следует оценивать в комплексе, т.е. с позиции всех этапов ЖЦИ. Общий критерий качества изделия должен быть производным от критериев качества на каждом этапе. При этом для каждого этапа ЖЦИ определяются предельно допустимые значения критериев, обеспечивающих переход к последующему этапу. В свою очередь, общий критерий качества изделия на этапе ЖЦИ должен быть производным от критериев качества на каждой стадии этапа, также имеющих предельные значения.
8. Измеримость критериев. Для оценивания качества показатели изделия необходимо измерять. Измерения показателей изделия будут носить как качественный, так и количественный характер.
9. Детализация критериев. При переходе на последующие стадии ЖЦИ критерии должны детализироваться, качественные критерии по возможности заменяться количественными. Скажем, этап проектных работ, имеющий стадии НИР, технического предложения, эскизного проекта и технического проекта. Такие важные критерии, как уровень унификации конструкции, соответствие норм точности служебному назначению, точность выполнения служебного назначения и ряд других, на первых двух стадиях в численных показателях оценить проблематично, а на последней – вполне реально.

## **2. Критерии оценки качества изделия**

На основе представленных принципах была построена модель критериев качества изделия. В подсистеме управления качеством изделия на протяжении всего ЖЦИ ( $R_0$ ) имеются 5 глобальных критериев качества, на основе которых оценивается общее (конечное) качество изделия:

- 1)  $Kp_1$  – уровень качества на этапе разработки ТЗ;
- 2)  $Kp_2$  – уровень качества на этапе проектных работ;
- 3)  $Kp_3$  – уровень качества на этапе разработки РД и ЭД;
- 4)  $Kp_4$  – уровень качества на этапе изготовления и испытания;
- 5)  $Kp_5$  – уровень качества на этапе эксплуатации и утилизации.

Представленные глобальные критерии носят качественный характер, характеризуя конечное множество частных критериев. Для них установлена следующая шкала оценок: (1) недостаточное качество, (2) достаточное качество, (3) хорошее качество. Наиболее важным этапом, влияющим на качество изделия, является этап проектных работ, результаты которого станут основой для всех последующих этапов ЖЦИ. Поэтому, рассмотрим критерии качества на этом этапе. Подсистемы 1-го уровня ( $R_1^n$ ) оценивающие качество изделия на соответствующем этапе ЖЦИ имеют соответствующие этапу критерии качества изделия. Например, в подсистеме управления качеством проектных работ ( $R_1^2$ ) установлены следующие частные критерии:

- 1)  $Kp_2^2$  – уровень качества на стадии проведения НИР;
- 2)  $Kp_2^3$  – уровень качества на стадии разработки технического предложения (ТП);
- 3)  $Kp_2^4$  – уровень качества на стадии разработки эскизного проекта (ЭП);
- 4)  $Kp_2^5$  – уровень качества на стадии разработки технического проекта (ПТ).

Наконец, подсистемы 2-го уровня ( $R_2^n$ ), оценивающие качество изделия на соответствующей стадии ЖЦИ имеют соответствующие стадии критерии качества изделия. Например, в подсистеме управления качеством на стадии разработки ЭП ( $R_2^4$ ) установлены следующие частные критерии:

- 1)  $Kp_{21}^4$  – уровень качества конструкторской проработки изделия, разработанного на стадии ЭП;
- 2)  $Kp_{22}^4$  – уровень качества технологической проработки изделия, разработанной на стадии ЭП, т.е. захватывает следующие этапы ЖЦИ;
- 3)  $Kp_{23}^4$  – уровень качества документации, разработанной на стадии ЭП.

Подобное разделение позволяет отдельно оценить качество самой документации, разработанной на данной стадии, так и качество изделия, т.е. информацию, содержащуюся в документации.

Последним 3-м уровнем системы управления качеством являются операторы  $\{P_{3m}^n\}$ , оценивающие результаты на стадиях ЖЦИ, которые сгруппированы с целью повышения эффективности и удобства работы. Например, оператор, оценивающий качество конструкторской проработки изделия, разработанного на стадии ЭП ( $P_{4m}^n$ ), оценивает всю информацию, от-

носящуюся к конструкции изделия на стадии ЭП. Оценка качества выполняется на основе множества частных критериев оценки качества изделия

$$K_{P_{31}}^4 = \left[ K_1(P_{31}^4), K_2(P_{31}^4), K_3(P_{31}^4), K_4(P_{31}^4), K_5(P_{31}^4) \right]:$$

- 1)  $K_1(P_{31}^4)$  – степень соответствия параметров изделия (технические характеристики и технико-экономические показатели) требованиям ТЗ, установлена 3-х бальная шкала: (1) не соответствуют, (2) соответствуют только ключевые (основные) показатели изделия, (3) все показатели изделия соответствуют требованиям ТЗ и ТП;
- 2)  $K_2(P_{31}^4)$  – показатели работоспособности и надежности конструкции изделия, для которых устанавливается 3-х бальная шкала: (1) конструкция изделия неработоспособна и/или ненадежна, (2) конструкция изделия работоспособна и в целом надежна, (3) конструкция изделия работоспособна и надежна;
- 3)  $K_3(P_{31}^4)$  – соответствие изделия требованиям техники безопасности и экологичности, устанавливается 2-х бальная шкала: (1) не соответствует, (2) соответствует;
- 4)  $K_4(P_{31}^4)$  – показатели эргономичности изделия, устанавливается 2-х бальная шкала: (1) недостаточно эргономично, (2) достаточно эргономично;
- 5)  $K_5(P_{31}^4)$  – удобство эксплуатации изделия (т.е. качество на последующих этапах ЖЦИ), устанавливается 3-х бальная шкала: (1) неудобно (не соответствует требованиям эргономичности), (2) в целом удобно, (3) достаточно удобно.

На основании анализа качественных и количественных значений частных критериев выполняется комплексная оценка качества изделия.

При этом для ряда важнейших критериев должны предусматриваться их допустимые значения, соблюдение которых должно безоговорочно выполняться.

### 3. Модели принятия решений

Принятие решений о качестве изделия выполняется в соответствии с последовательностью этапов ЖЦИ. Учитывая, что ряд этапов представлен в виде стадий, для некоторых из которых характерна иерархическая система критериев, последовательность принятия решений следующая.

1. Для каждого этапа предусматривается определенное число уровней – стадий. Ряд из них представляется более низшими подсистемами второго уровня.

2. Принятие решения начинается на низшем уровне с использованием выявленных критериев, постепенно переходя к более высшим подсистемам, стадиям, этапам.
3. Правила перехода к дальнейшим работам по проекту или доработки проекта на определённом уровне или стадии оговариваются соответствующими базами правил. При этом для ряда критериев могут устанавливаться допустимые интервальные (для численных критериев) или качественные (достаточный, недостаточный) значения.
4. После завершения оценки качества проекта на определенном этапе ЖЦИ и получения положительной оценки выполняется переход к работам и их оценке на следующем этапе.
5. Дается общая оценка качества проекта на основании оценок на каждом из этапов.

Для сложных машиностроительных изделий не всегда возможно получение численных значений показателей их качества (оценка соответствия мировому уровню, требованиям безопасности и экологичности). Поэтому, учитывая численный и качественный характер критериев, предложено два типа моделей поддержки принятия решений.

Для получения решения с помощью показателей количественного типа была разработана база правил достаточного простого вида: Если показатель 1 имеет значение ... И показатель 2 имеет значение ... И ..., ТО качество изделия (хорошее, достаточное, недостаточное). При этом для отдельных показателей учитываются их допустимые интервалы, а также оговаривается, какой общий уровень качества изделия на этапе (стадии, уровне, подуровне) допустим.

Для получения решения с помощью показателей качественного типа использована методика на основе нечетких множеств [Zadeh, 1965]. Для оценки привлекаются эксперты, оценивающие свою уверенность в качестве изделия на рассматриваемом этапе, стадии или уровне с использованием лингвистической переменной  $A_i$ , заданной термами: достаточная, средняя, недостаточная (рис. 3).

Нечеткие продукционные модели имеют вид: ЕСЛИ уверенность эксперта 1 есть  $A_1$  И уверенность эксперта 2 есть  $A_2$  И уверенность эксперта 3 есть  $A_3$  И ... уверенность эксперта n есть  $A_n$ , ТО взвешенная уверенность экспертов в определенном уровне качества (параметра качества) есть  $B_i$ .

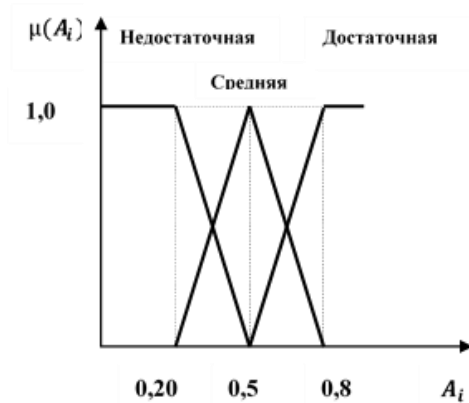


Рис. 3. Лингвистическая переменная  $A_i$

Лингвистическая переменная  $B_i$  имеет 5 термов: весьма надежная, надежная, сомнительная, ненадежная, весьма ненадежная (рис. 4).

Состав экспертов, как правило, следующий: лицо принимающее решение (ЛПР) – руководитель проекта по созданию изделия (или его заместитель) – субъект 1; руководитель данной стадии ЖЦИ – субъект 2; главный конструктор изделия – субъект 3; руководители смежных стадий ЖЦИ – субъекты 4. Эксперты дают оценку уверенности по шкале от 0 до 1. Для нечеткой конъюнкции подусловий применяется правило минимума, для нахождения функций совместной принадлежности – правило нечеткой импликации Мамдани, для дефаззификации управляющего воздействия – центроидный метод.

Результат (лингвистическая переменная  $B_i$ ) также получается в числовой форме по шкале от 0 до 1. Экспертами заранее определяется минимально допустимый уровень взвешенной уверенности экспертов в определенном уровне качества. Правила перехода на следующий этап ЖЦИ (стадию, уровень, подуровень) определяется этой самой минимально допустимой величиной выходного параметра.

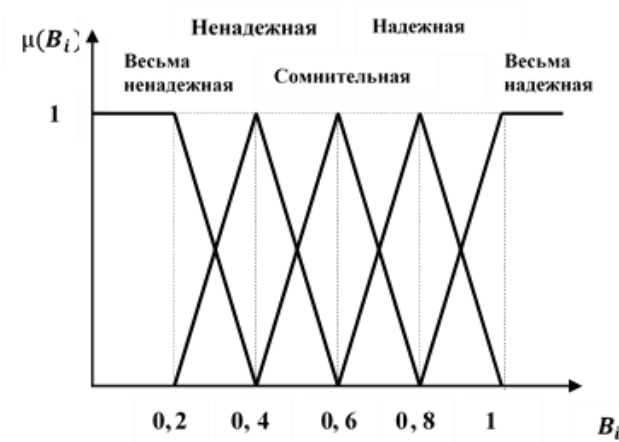


Рис. 4. Лингвистическая переменная  $B_i$

Таким образом, принятие решений выполняется последовательно по каждому этапу в рамках ЖЦИ, а затем дается общая оценка всего проекта на основе оценок на этапах. Как уже говорилось, на каждом этапе, учитывая иерархичность показателей-критериев, принятие решений начинается с низшего уровня (или подуровня), постепенно поднимаясь вверх. На основе выходных параметров – подсказок системы (полученных в автоматическом режиме, либо с участием экспертов) ЛПР принимает окончательное решение: выполнить корректировку работ на оцениваемой стадии этапа ЖЦИ (уровне, подуровне – итерации) при ненадлежащем качестве изделия, либо переход на последующую (безусловный или с замечаниями об учете и исправлении недостатков на следующей стадии) стадию (или последующий этап).

### Заключение

Представленная иерархическая модель критериев оценки качества изделия позволяет комплексно охватить все этапы и стадии ЖЦИ и оценить состояние разработок на них. Привлечение экспертов к процедурам принятия решений дает возможность обойти не вполне формализованные задачи при оценке качества. По нашему мнению, внедрение автоматизированной системы обеспечит качество изделия и поможет целенаправленно построить работу проектировщиков.



## Список литературы

- [Бурдо и др., 2014] Бурдо, Г.Б., Стоянова, О.В. Автоматизированная система управления процессами создания наукоемких машиностроительных изделий // Программные продукты и системы, 2014, №2(106).
- [Вумек и др. 2004] Вумек Д.П., Джонс Д.Т. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Под ред. Ю.П. Адлера. Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004.
- [ГОСТ 2.103-68, 1996] ГОСТ 2.103-68. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. – М.: Стандартинформ, 1996.
- [ГОСТ 2.1102-81, 1995] ГОСТ 3.1102-81. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документации. – М.: Стандартинформ, 1995.
- [ГОСТ Р ИСО 9001-2008, 2001] ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартинформ, 2001.
- [Гличев, 2001] Гличев, А. В. Основы управления качеством продукции. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2001.
- [Дитрих, 1981] Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. – М.: Мир, 1981.
- [Колчин, 2002] Колчин, А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумарков С.В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анархист, 2002.
- [Конти, 2005] Конти Т. Качество в XXI веке. Роль качества в обеспечении конкурентоспособности и устойчивого развития / Под ред. Т. Конти, Й. Кондо, Г. Ватсона. Пер с англ. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005.
- [Масааки, 2005] Масааки И. Гемба кайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.
- [Месарович, 1978] Месарович М., Такаха Я. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978.
- [Bernus, 2006] Bernus P., Nemes L. Modeling and Methodologies for Enterprise Integration. – London: Chapman and Hall. 2006.
- [Zadeh, 1965] Zadeh, L. Fuzzy Sets //Information and Control. 1965. Vol. 8.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СВИДЕТЕЛЬСТВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОСТИ ОБЪЕКТА<sup>1</sup>

В.К. Иванов (*mtivk@tstu.tver.ru*)

Тверской государственной технической университет, Тверь

Рассмотрен подход к количественной оценке показателей инновационности объектов различной природы. Предложена модель оценки, основанная на использовании результатов поиска информации об объектах в базах данных. Представлено специфическое применение теории свидетельств. Описана лингвистическая модель, технология обработки результатов измерений, полученных из поисковых систем, методика оценки достоверности источника данных. На примерах показана правомерность подхода.

**Ключевые слова:** инновационность, новизна, востребованность, техническое решение, теория свидетельств

### Введение

Анализ многочисленных источников, посвященных различным аспектам инновационного развития (см., например, [Mensch, 1979; Oslo, 2005; Tucker, 2008]), показывает, что в понятие «инновация» всегда включаются такие коннотаты, как «новый», «повышающий эффективность», «приносящий прибыль». Инновационность объекта рассматривается в рамках его системных взаимодействий, степени влияния объекта на субъект и на внешние по отношению к нему объекты.

В работе рассмотрен подход к количественной оценке показателей инновационности объектов различной природы: технических решений, компонентов систем, продуктов, технологий. Представлена методика с примерами специфического применения теории свидетельств для комбинирования результатов измерений показателей, полученных из различных источников, включая ресурсы Интернет.

Отметим, что рассмотрение свойств объектов, в общем случае также определяющих инновационность, выходит за рамки настоящей статьи.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-00358).

Например, наличие патента (или патентоспособности), финансовая обоснованность, законодательная (юридическая) допустимость.

## 1. Основные используемые понятия

*Инновация* – объект, обладающий совокупностью свойств, определяющих научно-техническую новизну, востребованность и имплементируемость. Инновацией может быть, например, изобретение, компонент технической системы, технология, метод и др.

*Научно-техническая новизна* – значительные улучшения, новый способ использования или предоставления объекта. Субъектами новизны являются потенциальные пользователи или сам производитель.

*Востребованность* – осознанная потенциальным производителем необходимость для него объекта, оформленная в спрос.

*Имплементируемость* – определяет технологическую обоснованность, физическую осуществимость и способность объекта быть интегрированным в систему для получения желаемых эффектов.

*Искомый объект* – объект, информация о котором ищется в базе данных с помощью поисковой системы. В нашем контексте искомый объект является продуктом (технологией), возможно имеющим инновационный потенциал.

*Поисковый паттерн* – описание искомого объекта (лингвистическая модель), состоящее из маркера и ключевых термов. Поисковый паттерн предназначен для формирования *запросов*.

*Ключевой терм* – слово или словосочетание, которое определяет искомый объект с одной из следующих сторон: 1) механизм применения (функционирования), конструкция объекта; 2) результат или условия применения (функционирования) объекта; 3) важные характеристики (свойства, материал, состав) объекта.

*Маркер* – ключевой терм, определяющий область применения (действия) объекта.

*Запрос* – совокупность ключевых слов и маркера, используемая поисковой системой для поиска в базе данных информации об объекте.

*Поисковая система* – механизм поиска информации в базе данных.

## 2. Моделирование показателей инновационности объектов

### 2.1. Использование лингвистической модели объекта

Пусть лингвистическая модель объекта состоит из  $N$  ключевых термов. Пусть имеется универсальное множество номеров термов  $\Omega = |K|$ . Например, при  $K = 4$   $\Omega = \{1, 2, 3, 4\}$ . Маркер имеет номер  $0 \notin \Omega$ .

Из термов конструируются запросы  $A_{qk} \subseteq \Omega$ ,  $k = [1, N]$ . Например,  $A_{q1} = \{1\}$ ,  $A_{q2} = \{1, 2\}$ . Маркер добавляется к каждому запросу. Общее

число запросов  $S$  определяется как число сочетаний элементов  $a$  по  $b$  без повторений, вычисляемое в соответствии с выражением:

$$S = 1 + \sum_{c=1}^{N-1} N! / c!(N-c),$$

где  $c$  – число термов в запросе, а единица в выражении отождествляется с запросом,  $c = K$ . Для  $K = 4$ ,  $S = 15$ .

Запросы  $A_{qk}$  выполняются в поисковой системе и являются наблюдаемыми подмножествами  $\Omega$  (фокальными элементами). Результатом выполнения запроса является множество найденных записей базы данных (документов для документных баз данных) с мощностью  $R$ .

## 2.2. Оценка показателей инновационности

Ниже представлена модель оценки показателей инновационности, основанная на использовании результатов поиска информации об объектах в различных базах данных, включая ресурсы Интернет.

Новизна объекта  $Nov$  определяется следующим образом:

$$Nov = 1 - \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S R_k^{01}, \quad R_k^{01} = 1 - \exp\left(1 - \frac{R_k}{R_0^{01}}\right), \quad (2.1)$$

где  $R_k$  – число документов, найденных в результате выполнения  $k$ -го запроса в базе данных, содержащей информацию о рассматриваемой предметной области;  $R_k^{01}$  – нормированное на диапазон  $[0, 1]$  значение  $R_k$ ;  $R_0^{01}$  – нормированное на диапазон  $[0, 1]$  число документов, найденных в результате выполнения запроса, состоящего из одного термина – маркера.

Предполагается, что для новых объектов количество результатов поиска, релевантных поисковому паттерну, будет меньше, чем для давно существующих и известных объектов.

Востребованность объекта  $Rel$  определяется следующим образом:

$$Rel = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S F_k^{01}, \quad F_k^{01} = 1 - \exp\left(1 - \frac{F_k}{F_0^{01}}\right),$$

где  $F_k$  – частота выполнения пользователями запросов, аналогичных  $k$ -му запросу;  $F_k^{01}$  – нормированное на диапазон  $[0, 1]$  значение  $F_k$ ;  $F_0^{01}$  – нормированное на диапазон  $[0, 1]$  значение частоты выполнения пользователями запроса, состоящего из одного термина – маркера.

Предполагается, что для востребованных объектов число результатов поиска, релевантных поисковому паттерну или лингвистической модели, будет больше, чем для объектов, потерявших спрос. Вычисляемые и измеряемые показатели выполнения запросов  $A_{qk}$  представлены в табл. 1.

Табл. 1.

Вычисляемый показатель		Измеряемый показатель	
Обозначение	Описание	Обозначение	Описание
$p(Nov)$	Вероятность того, что объект обладает научно-технической новизной	$R$	Число документов, найденных поисковой системой
$p(Rel)$	Вероятность того, что объект востребован (на него имеется спрос)	$F$	Частота выполнения запросов пользователями поисковой системы

### 2.3. Методика обработки результатов измерений

Рассмотрим в качестве примера порядок вычисления значения показателя инновационности  $p(Nov)$ .

Число найденных документов  $R_k$  определяется для каждого запроса и нормируется в соответствии с выражением (2.1). Для всех значений  $R_k$  число интервалов группирования определим как  $I = \sqrt{S}$ . Тогда для рассматриваемого примера ( $S = 15$ )  $I = \sqrt{15} = 3,873 \approx 4$ . В случае равных интервалов  $A_1 = [0,0000; 0,2500]$ ,  $A_2 = [0,2501; 0,5000]$ ,  $A_3 = [0,5001; 0,7500]$ ,  $A_4 = [0,7501; 1,0000]$ . Указанные интервалы в контексте измерения  $Nov$  соответствуют номинальной шкале «новизна есть», «по-видимому, новизна есть», «по-видимому, новизны нет», «новизны нет».

В табл. 2 приведен фрагмент результатов измерения показателя  $R_k$  при выполнении запросов  $A_{qk}$  в некоторой поисковой системе 1 (например, Yandex).

Выполнение запросов  $A_{q1} - A_{q15}$  дали следующие итоги: 4 запроса имеют результаты из интервала  $A_1$  ( $q_1 = 4$ ), 5 запросов имеют результаты из интервала  $A_2$  ( $q_2 = 5$ ), 5 запросов имеют результаты из интервала  $A_3$  ( $q_3 = 5$ ), 1 запрос имеет результат из интервала  $A_4$  ( $q_4 = 1$ ).

В соответствии с теорией свидетельств [Shafer, 1976] базовая вероятность  $m(A_i)$  или частотная функция определяется так:

$$m : P(\Omega) \rightarrow [0, 1] (2^\Omega \rightarrow [0, 1]), m(\emptyset) = 0, \sum_{A \in P(\Omega)} m(A) = 1$$

и может быть вычислена следующим образом:

$$m(A_k) = q_k / S, \quad (2.2)$$

где  $q_i$  – количество наблюдаемых подмножеств,  $\sum q_k = S$ .

Табл. 2.

$A_{qk}$	$R_k$	$A_k$
...	...	...
$A_{q3} = \{3\}$	0,2217	$A_1$
$A_{q4} = \{4\}$	0,1008	$A_1$
$A_{q5} = \{1, 2\}$	0,3880	$A_2$
...	...	...
$A_{q9} = \{2, 4\}$	0,3579	$A_2$
$A_{q10} = \{3, 4\}$	0,4703	$A_2$
$A_{q11} = \{1, 2, 3\}$	0,6564	$A_3$
$A_{q12} = \{1, 2, 4\}$	0,5835	$A_3$
...	...	...

Для нашего примера согласно (2.2)  $m(A_1) = q_1/S = 4/15 = 0,27$ ,  $m(A_2) = q_2/S = 5/15 = 0,33$ ,  $m(A_3) = q_3/S = 5/15 = 0,33$ ,  $m(A_4) = q_4/S = 1/15 = 0,07$ .

Далее должны быть рассчитаны функция доверия  $Bel(A) = \sum_{A_k: A_k \subseteq A} m(A_k)$

и функция правдоподобия  $Pl(A) = \sum_{A_k: A_k \cap A} m(A_k)$ . Результаты вычисления

$Bel(A)$  и  $Pl(A)$  для интервала  $A = [0,0; 0,5]$  («новизна есть») следующие:  $Bel(A) = m(A_1) + m(A_2) = 0,60$ ,  $Pl(A) = 0$ .

То есть, рассматриваемый объект с  $p(Nov) = 0,60$  является новым.

Отметим, что интервалы из последовательности ( $A_k$ ) не обязательно должны быть равными. Для более точного определения длин интервалов должно быть использовано частотное распределение значений  $R_k$ .

#### 2.4. Методика обработки результатов измерений, полученных из нескольких поисковых систем

Предположим, что в поисковой системе 2 (например, Google) получены результаты измерения показателя  $R_k$  при выполнении запросов  $A_{qk}$ . Фрагмент этих результатов представлен в табл. 3.

В конечном счете, 2 запроса имеют результаты из интервала  $A_1$  ( $q_1 = 2$ ), 2 запроса имеют результаты из интервала  $A_2$  ( $q_2 = 2$ ), 6 запросов имеют результаты из интервала  $A_3$  ( $q_3 = 6$ ), 5 запросов имеет результат из интервала  $A_4$  ( $q_4 = 5$ ). Таким образом, согласно (2)  $m(A_1) = q_1/S = 2/15 = 0,13$ ,  $m(A_2) = q_2/S = 2/15 = 0,13$ ,  $m(A_3) = q_3/S = 6/15 = 0,40$ ,  $m(A_4) = q_4/S = 5/15 = 0,34$ .

Для интервала  $A = [0,0; 0,5]$  («новизна есть») имеем:  $Bel(A) = m(A_1) + m(A_2) = 0,260$ ,  $Pl(A) = 0$ . То есть,  $p(Nov) = 0,260$ , что отличается от результатов, полученных с помощью поисковой системы 1.

Табл. 3.

$A_{qk}$	$R_k$	$A_k$
...	...	...
$A_{q3}=\{3\}$	0,3413	$A_2$
$A_{q4}=\{4\}$	0,0157	$A_1$
$A_{q5}=\{1, 2\}$	0,7010	$A_3$
...	...	...
$A_{q9}=\{2, 4\}$	0,6995	$A_3$
$A_{q10}=\{3, 4\}$	0,5573	$A_3$
$A_{q11}=\{1, 2, 3\}$	0,8637	$A_4$
$A_{q12}=\{1, 2, 4\}$	0,7986	$A_4$
...	...	...

Комбинирующая базовая вероятность  $m_{12}$  вычисляется по формуле:

$$m_{12}(A) = \frac{1}{1-K} \sum_{A_i^{(1)} \cap A_j^{(2)} = A} m_1(A_i^{(1)}) m_2(A_j^{(2)}), \quad (2.3)$$

где коэффициент конфликтности  $K$  вычисляется следующим образом:

$$K = \sum_{A_i^{(1)} \cap A_j^{(2)} = \emptyset} m_1(A_i^{(1)}) m_2(A_j^{(2)}). \quad (2.4)$$

В табл. 4 представлены пересечения данных из примеров для поисковых систем 1 и 2, приведенных выше.

Табл. 4.

		$A_j^{(2)}$			
		{1, 4}	{3, 7}	{2, 5, 6, 9, 10, 13}	{8, 11, 12, 14, 15}
$A_i^{(1)}$	{1, 2, 3, 4}	{1,4}	{3}	{2}	$\emptyset$
	{5, 7, 8, 9, 10}	$\emptyset$	{7}	{5, 9, 10}	{8}
	{6, 11, 12, 13, 15}	$\emptyset$	$\emptyset$	{13}	{11, 12, 15}
	{15}	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	{15}

В соответствии с (2.4)  $K = 0,267$ , а в соответствии с (2.3)  $m_{12}(A_1) = 0,243$ ,  $m_{12}(A_2) = 0,392$ ,  $m_{12}(A_3) = 0,333$ ,  $m_{12}(A_4) = 0,032$ . Для интервала  $A = [0,0; 0,5]$  («новизна есть»):  $Bel_{12}(A) = m_{12}(A_1) + m_{12}(A_2) = 0,243 + 0,392 = 0,635$ ,  $Pl_{12}(A) = 0$ .

То есть, вероятность того, что рассматриваемый объект является новым, равна  $p(Nov) = 0,635$ .

## 2.5. Методика учета надежности источника

Надежность источника может быть учтена введением коэффициента дисконтирования  $\alpha$  для базовой вероятности  $m(A)$  [Shafer, 1976]. Пусть для поисковой системы 1 экспертная оценка  $\alpha_1 = 0,1$ , а для поисковой системы 2 –

$\alpha_2 = 0,2$ . То есть, результаты первой системы надежнее, чем результаты второй. Дисконтированные базовые вероятности вычисляются так:

$$m^\alpha(A) = (1-\alpha)m(A).$$

В табл. 5 представлены вычисленные ранее для поисковых систем 1 и 2 базовые вероятности наличия новизны объекта для 4-х интервалов группирования результатов поиска и дисконтированные базовые вероятности.

Табл. 5.

Интервал	Поисковая система 1		Поисковая система 2	
	$m_1(A_i^{(1)})$	$m_1^\alpha(A_i^{(1)})$	$m_2(A_j^{(2)})$	$m_2^\alpha(A_j^{(2)})$
$A_1$	0,27	0,243	0,13	0,104
$A_2$	0,33	0,297	0,13	0,104
$A_3$	0,33	0,297	0,40	0,320
$A_4$	0,07	0,063	0,34	0,272
$R$	0	0,1	0	0,2
$\sum m$	1	1	1	1

Применив правило Демпстера с использованием выражений (2.3) и (2.4) для  $m_1^\alpha(A_i^{(1)})$  и  $m_2^\alpha(A_j^{(2)})$ , получаем  $K^\alpha = 0,193$ ,  $m_{12}^\alpha(A_1) = 0,219$ ,  $m_{12}^\alpha(A_2) = 0,329$ ,  $m_{12}^\alpha(A_3) = 0,291$ ,  $m_{12}^\alpha(A_4) = 0,037$ .

Для интервала  $A = [0,0; 0,5]$  («новизна есть»):  $Bel_{12}^\alpha(A) = m_{12}^\alpha(A_1) + m_{12}^\alpha(A_2) = 0,219 + 0,329 = 0,548$ ;  $Pl_{12}^\alpha(A) = 0$ .

То есть, вероятность того, что рассматриваемый объект является новым, равна  $p(Nov) = 0,548$ .

### 3. Результаты экспериментальной проверки моделей

В качестве примера приведем результаты оценки новизны изобретений из списка 10 лучших изобретений 2017 года (список ТОП-10), подготовленного экспертами Роспатента (<https://russian.rt.com/russia/article/466233-nauka-izobreteniya-grossiiskih-uchyonyh9>), и 10 случайно выбранных изобретений, зарегистрированных в 2017 году. В соответствии с (2.1) рассчитывалась новизна  $Nov$  для каждого изобретения и среднее значение новизны для группы. Поисковые паттерны готовились экспертами. Использовалась открытая база данных патентов <http://www1.fips.ru>. Полученные в результате экспериментов и расчетов значения показывают, что средняя новизна изобретений из списка ТОП-10  $Nov = 0,27$  ожидаемо выше, чем средняя новизна случайно отобранных изобретений  $Nov = 0,20$ .



Также некоторые выводы позволяет сделать анализ новизны технических решений, рассчитанной за определенный период. Использовалась база данных патентов <http://www1.fips.ru>. Новизна решения определялась отдельно по подмножествам базы данных, соответствующим годам регистрации патентов (использован 10-летний период). Аппроксимация полученных значений *Nov* подтверждает гипотезу о снижении новизны объекта со временем. Более того, установлена цикличность новизны анализируемого объекта, что вызывает необходимость проверки гипотезы о циклах инновационности в данной прикладной области. Отметим, что давно известны концепции, описывающие развитие общества в целом и экономики в частности, как последовательность повторяющихся циклов или конъюнктурных волн [Schumpeter, 1939]. Речь в нашем исследовании идет только о формировании гипотезы, которая требует дальнейшей проверки.

### Заключение

Подход к определению значений показателей инновационности объектов, описание которого представлено в статье, является одним из результатов исследований, проводимых в рамках проекта РФФИ «Организация и поддержка хранилища данных на основе интеллектуализации поискового агента и эволюционной модели отбора целевой информации». Показатели инновационности объектов служат важным фактором отбора релевантной информации в целевые тематические сегменты хранилища. Далее мы планируем обосновать и формализовать процедуру генерации лингвистической модели объекта и включить в состав поискового агента алгоритмы, основанные на рассмотренных методиках.

**Благодарности.** Автор считает своим приятным долгом поблагодарить коллектив проекта, в рамках которого была выполнена работа.

### Список литературы

- [Mensch, 1979] Mensch G. Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression. Ballinger Pub. Co. 1979.
- [Oslo, 2005] Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. The Measurement of Scientific and Technological Activities, 3rd Edition, 2005. – [https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual\\_9789264013100-en](https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual_9789264013100-en).
- [Shafer, 1976] Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1976.
- [Schumpeter, 1939] Schumpeter J.A. Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. New York Toronto London. 1939.
- [Tucker, 2008] Tucker R.B. Driving growth through innovation: how leading firms are transforming their futures. 2nd ed., San Francisco: Berrett-Koehler Publishers. 2008.

## ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛИЗМА В ТЕОРИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Г.Н. Калянов (*kalyanov@mail.ru*)  
Институт проблем управления РАН, Москва

Анализируется современное состояние теории бизнес-процессов, классифицируются ее основные направления. Для решения задач, связанных с параллелизмом, выделяются и анализируются классы параллельных бизнес-процессов.

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, параллельный бизнес-процесс, конвейерные, синхронные и асинхронные бизнес-процессы

Термин «бизнес-процесс» (БП) был введен в начале 90-х годов прошлого века Майклом Хаммером и получил широкое распространение после публикации монографии [Hammer, 1993], посвященной новому подходу к реорганизации БП. Однако исследованиями аналогичных объектов, называемых организационными (организационно-управляющими) процессами, деятельностью, работами, специалисты начали заниматься достаточно давно. В частности, Франк и Лилиан Гилбрет в 1921 году в своем докладе в ASME (American Society of Mechanical Engineers) предложили нотацию карт процессов (flow process chart), которая с небольшими модификациями используется и по сегодняшний день. Знаковым этапом развития науки о БП являлся период конца 60-х – начала 70-х годов прошлого века – именно тогда появились широко используемые в настоящее время языки моделирования SADT-IDEF0, DFD, CFD, кластеры (прообразы классов в объектно-ориентированном подходе), а имена их авторов (Росс, Йодан, ДеМарко, Гейн, Сарсон, Лисков и др.) известны любому специалисту в рассматриваемой области. Однако приоритет безоговорочно принадлежит опубликованному еще до отмены крепостного права в России отечественному изданию, в котором описан не только предшественник перечисленных выше языков моделирования, но предусмотрен и ряд конструкций современных языков моделирования БП класса EML (например, «плавательные дорожки»).

Современная теория бизнес-процессов [Калянов, 2018], с одной стороны, является одним из направлений теории процессов (модели которой

подходят для изучения иерархических систем, включая организационные системы), в свою очередь, представляющей собой «раздел математической теории программирования, изучающий математические модели поведения динамических систем, называемых процессами» [Миронов, 2008], где процесс определяется как «модель поведения, которое заключается в исполнении действий». С другой стороны, формальный аппарат, лежащий в основе теории БП, базируется на следующих направлениях теории программирования: формальные грамматики и языки; параллельные процессы и методы распараллеливания; теория тестирования программного обеспечения (ПО); методы оптимизации, верификации, анализа и оценки качества ПО; теория баз данных и баз знаний; структурные и объектно-ориентированные методы анализа и проектирования и др.

Основные направления и разделы теории бизнес-процессов рассмотрены в работах [Калянов, 2016, 2015], приведем здесь лишь их краткое перечисление:

- языки моделирования и модели БП;
- технологии моделирования;
- методы структурирования/декомпозиции;
- методы инжиниринга/реинжиниринга;
- методы анализа и верификации;
- методы перехода от моделей БП к требованиям их автоматизации.

Однако вышеперечисленные модели и методы практически не затрагивают вопросы параллельной работы БП. Для решения задач, связанных с параллелизмом, в [Калянов, 2018] были выделены следующие классы БП, основанные на известной классификации ЭВМ Флинна:

- ОКОД (Одиночный поток Команд и Одиночный поток Данных) – последовательные БП;
- МКОД (Множественный поток Команд и Одиночный поток Данных) – конвейерные БП;
- ОКМД (Одиночный поток Команд и Множественный поток Данных) – синхронные (векторные и матричные) БП;
- МКМД (Множественный поток Команд и Множественный поток Данных) – асинхронные БП.

В [Куприянов, 2010, 2017] выделен и исследован специальный класс конвейерных БП, который существенно шире множества «классических» конвейеров, и позволяет при этом вычислять основные характеристики процесса (в том числе и те, которые нельзя вычислить с помощью имитационного моделирования).

Модель конвейерного процесса имеет следующие основные отличия от классической модели конвейера: во-первых, процесс описывается не парал-

лельно-последовательной схемой, а ациклическим ориентированным графом, вершинами которого могут быть функциональные операции или спусковые функции; во-вторых, числовые характеристики процесса определяются не аналитическими, а рекуррентными выражениями.

Разработана теория моделирования конвейерных бизнес-процессов [Куприянов, 2010], включающая в себя следующие основные компоненты:

- набор функциональных примитивов, описывающих конвейерные БП;
- формальное математическое описание модели в виде набора рекуррентных отношений, позволяющих однозначно описать основные характеристики процесса;
- набор характеристик, определяющий функционирование конвейера: производительность, время начала стационарного режима работы;
- структурный метод анализа модели, позволяющий в статике (без имитационного моделирования) вычислять основные характеристики процесса: производительность; время выхода в стационарный режим работы; характеристическую операцию конвейера, определяющую производительность конвейера;
- теорема, доказывающая, что на любом цикле работы конвейера его фаза изменяется по закону некоторого индуцированного им линейного конвейера.

В части синхронных БП из соответствующего раздела теории программирования в качестве основы могут быть использованы результаты из следующих ее подразделов:

- векторные и матричные структуры данных и методы их размещения и обработки, языки программирования векторных вычислений [Разбегин, 1985];
- методы тестирования, анализа и верификации векторных программ [Калянов, 1986].

Для реализации методов первого подраздела необходимо соответствующее расширение информационных моделей БП (в частности, ERD), с другой стороны, расширение соответствующих языков построения функциональных моделей не является целесообразным ввиду специфики рассматриваемого объекта и усложнения понимаемости его модели.

Что касается второго подраздела, то решение соответствующих задач обеспечивается перечисленными в [Калянов, 2018, 2016, 2015] методами и моделями для последовательных БП.

Сложнее выглядит ситуация для класса асинхронных БП. В соответствующем разделе теории программирования выделяются следующие методы для решения задач параллельного программирования:

- синхронизирующие примитивы (семафоры Дейкстры, условные интервалы Хоара и др.);

- методы распараллеливания последовательных программ;
- параллельные грамматики и языки;
- методы параллельной трансляции и т.д.

Соответствующие работы в части ориентации перечисленных методов на БП, проводимые как отечественными, так и зарубежными специалистами, в настоящее время находятся в начальном состоянии.

### Список литературы

- [Добролюбов, 1858] Добролюбов Н.А. Руководство к наглядному изучению административного порядка течения бумаг в России. Москва, 1958.
- [Калянов, 2018] Калянов Г.Н. О теории бизнес-процессов // Программная инженерия, 2018, Т. 9, № 3.
- [Калянов, 2016] Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов: формальные модели и методы // Экономика, статистика и информатика, 2016, №4.
- [Калянов, 2015] Калянов Г.Н. Модели и методы теории бизнес-процессов // Открытое образование, 2015, № 6.
- [Калянов, 1986] Калянов Г.Н. Тестирование программ параллельных вычислительных систем с общим управлением // Программирование, 1986, № 2.
- [Куприянов, 2017] Куприянов Б.В. Метод эффективного анализа модели рекурсивного конвейерного процесса // Автоматика и телемеханика, 2017, № 3.
- [Куприянов, 2010] Куприянов Б.В. Моделирование конвейерных бизнес-процессов // Сб. тр. «Управление большими системами», 2010, Вып. 28.
- [Миронов, 2008] Миронов А.М. Теория процессов. – Переславль-Залесский: Университет г. Переславля, 2008.
- [Разбегин, 1985] Разбегин В.П., Калянов Г.Н., Куприянов Б.В. Система программирования векторных вычислений // Программирование, 1985, № 4.
- [Hammer, 1993] Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. N.Y.: Harper-Collins. 1993.

УДК 004.021

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО И МНОГОМЕТОДНОГО ПОДХОДОВ ДЛЯ ПОДБОРА МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА<sup>1</sup>

Г.С. Малтугуева (*gama@icc.ru*)

А.Ю. Юрин (*iskander@icc.ru*)

Институт динамики систем и теории управления  
им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск

В работе рассмотрено совместное применение прецедентного и многометодного подходов для подбора метода решения задач многокритериального выбора. Описаны модель прецедента, процедура сужения полученного множества прецедентов-аналогов и программная система, реализующая предложенные алгоритмы, а также приведен пример применения.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, поддержка принятия решений, многокритериальный выбор, прецедентный подход, многометодный подход

### Введение

Наличие разнообразных методов решения задач многокритериального выбора и опыта их применения к решению тестовых и практических задач обуславливают актуальность проблемы эффективного их подбора и комплексного применения.

Эффективность применения методов повышается с помощью специального программного обеспечения. При этом автоматизированное решение задачи многокритериального принятия решений осуществляется в таких программных средствах как СППР «Выбор», «СВИРЬ», СППР «Консилиум», «Оценка и Выбор», ГАС «Выборь», «Общий мозг», «СИВКА», «Бурка», DASS и др. [Поудиновский, 2008]. Отметим, что успешное применение программных систем и методов требует от пользователя, который не всегда является специалистом в области принятия решений, знаний о корректном выборе релевантных методов, правильном представлении входных

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-08-00560, 17-07-00512).

данных и их интерпретации. При этом в научной литературе весьма слабо рассмотрен вопрос автоматизации подбора методов для решения задач многокритериального принятия решений в условиях определенности.

В данной работе рассматриваются процедуры, алгоритмы и программное обеспечение, обеспечивающие подбор методов решения задач многокритериального выбора на основе совместного применения прецедентного и многометодного подходов. При этом первый обеспечивает использование накопленного опыта, а второй используется при уточнении полученных результатов.

## **1. Процедура подбора релевантных методов решения задачи многокритериального выбора**

В большинстве случаев выбор методов осуществляется на основании знаний и опыта ЛПР, в том числе, с учетом ранее решенных задач, поэтому для формирования перечня методов решения новой многокритериальной задачи предлагается применить прецедентный подход (принятие решений «по аналогии», Case-Based Reasoning) [Aamodt et al., 1994]. Применение данного подхода позволит не только накапливать информацию о разрешенных задачах (формировать базу знаний – библиотеку прецедентов), но и использовать эти знания в дальнейшем. Процесс решения на основе прецедентов включает следующие основные этапы: извлечение, повторное использование, проверка и адаптация полученного решения, сохранение. В рамках данной работы предлагается подробнее рассмотреть этап извлечения, суть которого заключается в поиске прецедентов-аналогов (описание проблем, схожих с текущей, и методов их разрешения).

С целью уточнения полученного перечня прецедентов-аналогов и накопления сведений о методах решения задач многокритериального выбора предлагается привлечь экспертов, обработку мнений которых осуществить с помощью многометодного подхода.

Совместное применение прецедентного и многометодного подходов позволяет сформировать минимально достаточный набор методов, учитывающий особенности поставленной задачи и накопленный опыт.

### **1.1. Модель прецедента и извлечение**

Основным понятием в рамках прецедентного подхода является прецедент – структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку при помощи специализированных программных систем [Николайчук и др., 2009]. Как правило прецедент состоит из описания проблемной ситуации и ее решения:  $P_j = \langle \text{Описание, Решение} \rangle$ .

В данной работе модель прецедента (рис. 1) строится на основе предложенной формализации задачи многокритериального выбора:

$$T = \langle A, C, X, E, IP \rangle,$$

где:  $T$  – задача принятия решений;  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ,  $n > 1$  – конечное, заранее заданное множества вариантов, которое не изменяется в процессе решения задачи;  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ,  $m > 1$  – конечное, согласованное со всеми заинтересованными сторонами, множество оцениваемых характеристик вариантов – критериев;  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$  – шкалы оценивания по каждому из критериев, применяются в случае представления индивидуальных предпочтений в виде оценок и парных сравнений;  $E = \{E_1, E_2, \dots, E_k\}$ ,  $k > 0$  – лицо, принимающее решение, или группа заинтересованных лиц, участвующих в процессе принятия решения, – экспертов;  $IP = \{IP^1, IP^2, \dots, IP^k\}$  – профиль индивидуальных предпочтений, которые могут быть представлены в любой из следующих форм: оценки (числовые, качественные), упорядочения вариантов, парные сравнения (числовые, вербальные значения).

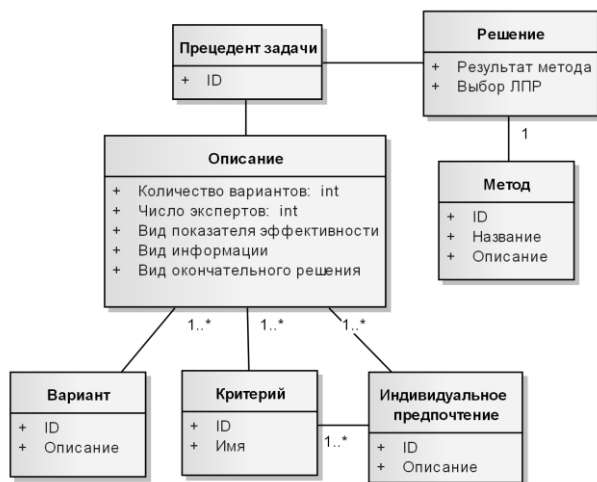


Рис. 1. Фрагмент модели прецедента задачи

В процессе извлечения прецедентов-аналогов требуется сравнить описание текущей проблемы с блоками «Описание» прецедентов хранящихся в библиотеке прецедентов, для этого предлагается с помощью метрики Журавлева проанализировать значения свойств из описательной части прецедента [Журавлев и др., 1989].



В результате извлечения возможно получение либо пустого, либо избыточного набора прецедентов. В первом случае необходимо осуществить поиск методов по имеющимся паспортам методов (структурированное описание) [Малтугуева и др., 2016а]. Далее, а также и в случае избыточного множества прецедентов-аналогов предлагается применить многометодный подход для сужения этого набора.

## **1.2. Процедура сужения набора прецедентов**

Для применения многометодного подхода к задаче сужения набора прецедентов предлагается сформулировать новую задачу многокритериального принятия решений, в которой экспертам предлагается рассмотреть методы решения ( $F_i$ ), содержащиеся в блоке «Решение» из извлеченных прецедентов-аналогов  $P_i$ , и оценить возможность их применения к решению рассматриваемой задачи по набору следующих параметров:

- мера близости прецедента-аналога;
- форма представления индивидуальных предпочтений;
- структурированность задачи;
- степень определенности информации;
- модель принятия решений;
- трудоемкость процесса экспертного оценивания;
- время получения экспертных мнений.

Для обработки мнений экспертов (индивидуальных предпочтений) предлагается применить многометодный подход, который позволит одновременно обобщить сведения, представленные в разных формах (рис. 2).

При подборе методов для реализации многометодного подхода был проведен аналитический обзор, результатом которого стал вывод о необходимости использования методов, базирующихся на теории множеств [Петровский, 2009]. В частности, для обработки предпочтений экспертов в виде оценок предложено использовать метод АРАМИС, в виде ранжировок – АИР [Малтугуева и др., 2015], в виде парных сравнений – МОПС [Малтугуева и др., 2016б].

Применение данных методов позволяет одновременно обрабатывать разные формы представления индивидуальных предпочтений, а также в процессе решения задачи формулировать обоснование для ЛППР.

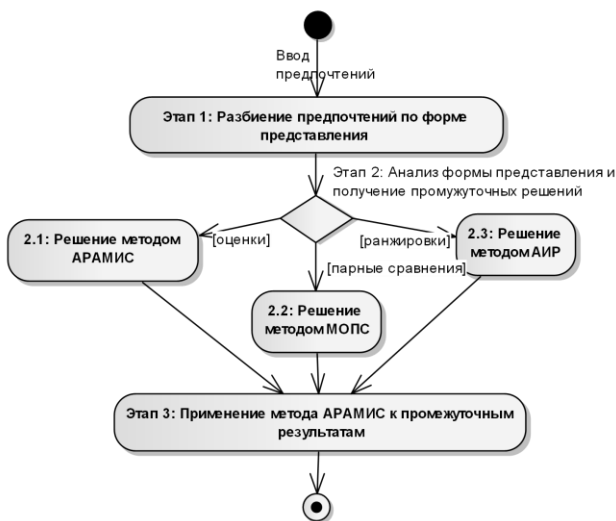


Рис. 2. Схема реализации многометодного подхода к решению задачи группового многокритериального выбора

## 2. Программное обеспечение

Предложенная процедура подбора методов на основе совместного применения прецедентного и многометодного подходов реализована в составе ИС ППР «Выбор+» [Малтугуева и др., 2017], предназначенной для решения задач многокритериального выбора (индивидуального, группового). Основными функциями программной системы, соответствующими этапам решения задач выбора, являются:

- описание возможных вариантов решения, критериев оценок, включая шкалы оценивания;
- описание индивидуальных предпочтений с возможностью выбора любой формы представления – оценки (числовые, вербальные), ранжировки (упорядочивания), парные сравнения (числовые, вербальные значения);
- подбор методов решения поставленной задачи на основе имеющегося (накопленного) опыта решения схожих задач;
- решение задач выбора (в настоящее время реализованы методы решения задач группового многокритериального выбора, методы свертки для решения задач многокритериального выбора, процедуры голосования для решения зада группового выбора);
- отображение результатов.

В соответствии с указанными функциями в составе программной системы выделены следующие основные подсистемы:

- «Описание и хранение задач» в соответствии с предлагаемой моделью прецедента;
- «Описание и хранение методов» (библиотека методов) в виде их структурированных паспортов;
- «Выбор» реализует прецедентный подход в части поиска методов, релевантных рассматриваемой задаче, в соответствии с их паспортами;
- «Поиск решения» позволяет решать рассматриваемую задачу выбранным методом;
- «Описание полученных решений» предназначено для формирования обоснования полученного результата для ЛПР;
- «Генерация отчетов» позволяет формировать отчет по решению задачи.

Пример экранной формы с результатами поиска решения приведен на рис. 3.

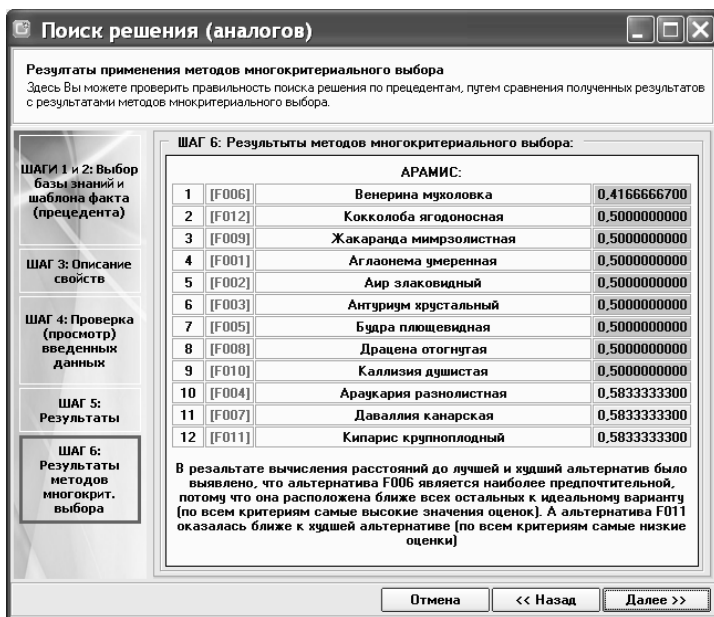


Рис. 3. Пример экранной формы СППР «Выбор+»: результаты поиска решения

### 3. Иллюстративный пример

Продемонстрируем работу предлагаемого подхода на примере решения задачи по выбору плана мероприятий для улучшения качества атмосферного воздуха в г. Улан-Батор, данная задача была решена ранее с помощью многометодного подхода [Малтугуева и др., 2015]. Рассмотрим работу подхода, предложенного в этой работе, объединяющего прецедентный и многометодный подходы.

Опишем новый прецедент согласно модели (рис. 1) в соответствии с поставленной задачей с указанием важности свойств:

- количество вариантов – 5, важность – 0,2;
- число экспертов – 5, важность – 0,2;
- вид показателя эффективности – векторный, важность – 1;
- вид информации – смешанная, важность – 1;
- вид окончательного решения – ранжировка, важность – 0,8.

Далее необходимо осуществить поиск близких к рассматриваемой задаче прецедентов и извлечь их. Результат процедуры извлечения приведен в табл. 1.

Табл. 1.

№ п/п	Метод решения	Мера близости	Количество прецедентов
1	АРАМИС	0,8	5
2	Метод групповой аналитической иерархии	0,8	1
3	Метод усреднения индивидуальных оценок	0,8	1
4	Аддитивная свертка	0,8	1
5	МОПС	0,8	1
6	АИР	0,8	3
7	TOPSIS	0,7	1

Для уточнения перечня релевантных рассматриваемой задаче методов к полученному набору методов применена многометодная процедура. Для этого проведено экспертное оценивание (2 эксперта) полученного множества методов на соответствие рассматриваемой задаче по набору критериев:

- мера близости (числовые оценки от 0 до 1);
- форма представления индивидуальных предпочтений («не соответствует», «частично соответствует», «полностью соответствует»);

- трудоемкость процесса экспертного оценивания («высокая», «средняя», «низкая»);
- время получения экспертных мнений («медленно», «приемлемо», «быстро»);
- уровень обоснованности («низкий», «средний», «высокий»).

Обработка полученных оценок проведена с помощью метода АРАМИС. В результате получено упорядочение, согласно которому методы АРАМИС и АИР получили одинаковую оценку, остальные методы, по мнению экспертов, менее применимы к решению поставленной задачи. Равные оценки можно интерпретировать как необходимость разработки на их основе многометодного метода (одновременное применение).

В результате лицу, принимающему решение, был предложен многометодный подход, который позволяет одновременно обрабатывать как качественную, так и количественную информацию и основан на методах АРАМИС и АИР.

### Заключение

Правильность подбора методов для решения задач многокритериального принятия решений в условиях определенности обеспечивает получение корректных решений.

В работе приведено описание алгоритмического и программного обеспечения для подбора методов на основе совместного применения прецедентного и многометодного подходов, приведен иллюстративный пример. В качестве методов поддержки многометодного подхода использованы методы, базирующиеся на теории мультимножеств.

### Список литературы

- [Журавлев и др., 1989] Распознавание, классификация, прогнозирование: Математические методы и их приложения. Под ред. Журавлева Ю.И. – М.: Наука, 1989.
- [Малтугуева и др., 2015] Малтугуева Г.С., Петровский А.Б. Многометодное групповое многокритериальное оценивание экологически мероприятий // Шестая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ – 2015 (15-20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. М.: ИСА РАН, 2015, Т.2.
- [Малтугуева и др., 2016а] Малтугуева Г.С., Петровский А.Б. Метод обработки парных сравнений вариантов, описанных мультимножествами // Труды IV Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Информатика, управление и системный анализ», Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016, Т. 1.
- [Малтугуева и др., 2016б] Малтугуева Г.С., Петровский А.Б. Метод обработки парных сравнений вариантов, описанных мультимножествами // Труды IV Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием

«Информатика, управление и системный анализ», Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016, Т. 1.

- [**Малтугуева и др., 2017**] Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Система поддержки принятия решений «Выбор+» // Материалы XVIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, г. Иркутск, Россия, 21-25 августа 2017 г. – Новосибирск ИВТ СО РАН, 2017.
- [**Николайчук и др., 2009**] Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии, 2009, № 5.
- [**Петровский, 2009**] Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
- [**Подиновский, 2008**] Подиновский В.В. Анализ задач многокритериального выбора методами теории важности критериев при помощи компьютерных систем поддержки принятия решений // Известия РАН: Теория и системы управления, 2008, № 2.
- [**Aamodt et al., 1994**] Aamodt A., Plaza E. Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. 1994. No. 7(1).

---

СЕКЦИЯ 4 | ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
ДАННЫХ

УДК 004.05

**АГРЕГИРОВАНИЕ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ  
СЕТЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФРАГМЕНТА  
МЕТА-ПРОФИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ<sup>1</sup>**

М.В. Абрамов (*mva16@list.ru*)

А.Л. Тулупьев (*alexander.tulupyev@gmail.com*)

Т.В. Тулупьева (*tvt100a@mail.ru*)

Санкт-Петербургский институт  
информатики и автоматизации РАН,  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург

Статья посвящена подходу к агрегированию данных из социальных сетей для восстановления фрагмента мета-профиля пользователя. Приводится формализация задачи сопоставления аккаунтов пользователя в разных социальных сетях. Приведены алгоритмы и их реализация в программном модуле, а также результаты его работы. Данные алгоритмы и реализация делают существенный вклад в построение профиля уязвимостей пользователя, который служит основой для анализа оценки защищённости пользователей информационных систем от социоинженерных атак.

**Ключевые слова:** мета-профиль пользователя, социоинженерные атаки, защита пользователя, информационная безопасность, профиль уязвимостей пользователя, киберсоциальные системы

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания СПИИРАН № 0073-2018-0001, при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-37-00323, 18-01-00626).

## Введение

На сегодняшний день информационные технологии являются неотъемлемой частью жизни практически каждого человека. Интернет, смартфоны, технологии умного дома наряду с новыми возможностями несут существенные риски, связанные с проблемами информационной безопасности [Kaspersky, 2017; Kontaxis et al., 2011; Malhotra et al., 1997]. В настоящее время одной из менее изученных сфер информационной безопасности является сфера защиты пользователей информационных систем от социоинженерных атак. Человек остаётся одним из наиболее уязвимых звеньев системы. Атаки на информационную безопасность компании через пользователей называются социоинженерными и основываются, как правило, на различного рода манипулятивных техниках, направленных злоумышленниками на пользователей. Задачи защиты пользователей от таких атак, анализа защищённости являются сегодня очень актуальными, что подчёркивается интенсивно растущей статистикой ущерба от киберпреступлений, количеством инцидентов, которые становятся известны из СМИ, увеличением времени, необходимого для расследования подобных преступлений [Kaspersky, 2017; Азаров и др., 2016].

Для оценки защищённости пользователей информационной системы строится профиль уязвимостей пользователя. Профиль уязвимостей пользователя связан с социальными, культуро-антропологическими, психологическими и иными особенностями пользователя [Азаров и др., 2016]. На данном этапе исследований рассматриваются оценки степени выраженности психологических особенностей пользователя, как основа для построения профиля уязвимостей. Степень выраженности психологических особенностей пользователя может оцениваться на основании мнений экспертов, исходя из результатов анкетирования, а также на основании данных, извлекаемых из социальных сетей.

В данной статье социальные сети рассматриваются в качестве источника информации для оценки психологических особенностей пользователей. Социальные сети сегодня являются мощнейшим источником информации о своих пользователях. Ежемесячно в Интернет в России выходят 65,9 млн человек, из которых социальные сети посещают более 90% [Баргунов и др., 2012]. По данным Brand Analytics, каждый день в социальных сетях появляются 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/>).



Чем больше информации о пользователе удалось извлечь для анализа, тем лучше получаются оценки их психологических особенностей, на основе которых строится профиль уязвимостей. Для увеличения количества анализируемой информации предлагается использовать аккаунты пользователей в нескольких социальных сетях, в связи с чем необходимо решить задачу сопоставления аккаунтов одного пользователя в разных социальных сетях. Для этого используются мета-профили пользователи, представляющие собой конфигурацию значений анкетных данных пользователя. Часто в аккаунте заполнены не все анкетные данные. Недостающие данные можно прогнозировать, исходя из социального круга пользователя. Материал посвящён методике и реализации восстановления мета-профиля пользователя на основании информации, извлекаемой из социальной сети ВКонтакте.

Цель исследования заключается в упрощении сбора данных для оценки степени выраженности психологических особенностей пользователя за счёт автоматизации этого процесса путём разработки эвристических алгоритмов, нацеленных на выявление не указанной пользователем информации. Практическая цель состоит в создании программного продукта, работающего с социальной сетью ВКонтакте, собирающего и анализирующего извлекаемые сведения.

Объектом исследования являются аккаунты пользователей социальной сети. Предметом исследования являются методы автоматизированного получения информации, входящий в мета-профиль пользователя, но не указанной им в явном виде.

Теоретическая и практическая значимость исследования подтверждается тем, что в ходе исследования были разработаны новые подходы к агрегированию и анализу данных о пользователях в социальных сетях, которые будут использованы для дополнения мета-профиля. Дополненный мета-профиль будет способствовать построению оценок психологических особенностей сотрудников компании. Психологические особенности пользователя играют важную роль при построении профиля уязвимостей.

## **1. Релевантные работы**

Заделом для данной работы послужило то, что уже разработаны средства для автоматизированного поиска аккаунтов сотрудников компании в социальной сети ВКонтакте [Shindarev и др., 2017; Irani et al., 2009; Тулупьева и др., 2010]. Модуль, реализующий данные алгоритмы, передаёт информацию программному модулю, методы и алгоритмы для которого описаны в данной работе. Уже разработаны подходы к оценке защищённости пользователей информационных систем от социоинженерных атак [Азаров и др., 2016; Абрамов и др., 2016; James, 2002]. Также заделом для текущей

работы стали исследования, в которых изложены подходы к решению задачи идентификации аккаунтов пользователей в разных социальных сетях [Бартунов и др., 2012], [Malhotra и др., 1997]. В работах [Бартунов и др., 2012; Bartunov et al., 2012; Коршунов и др., 2014] представлены подходы к сопоставлению аккаунтов пользователей в социальных сетях Facebook, Twitter, основанные на анализе социальных связей пользователей, предлагается «JLA-модель» идентификации пользователей, основанная на модели условных случайных полей. Данная статья направлена на решение одной из подзадач задачи сопоставления аккаунтов пользователей и в текущей формулировке для социальной сети ВКонтакте ставится впервые.

В материалах [Mislove A. et al., 2010; Zheleva E. et al., 2009] предлагаются методы восстановления анкетных данных на основании социального окружения пользователей. В данной статье предложено развитие указанных подходов с использованием рекурсивного анализа, а также пример приложения к данным, извлекаемым из социальной сети ВКонтакте.

## **2. Восстановление мета-профиля пользователя**

В качестве источников данных для пропущенных значений мета-профиля пользователя могут выступать сведения, получаемые на основании анализа социального окружения пользователя. Данный метод может быть также применён для верификации указанных в аккаунте пользователя данных. На данный момент анализу поддаются следующие параметры: страна, текущий город, родной город, возраст (год рождения), образование (школа, университет) и работа. Для каждого отдельного параметра личных данных были разработаны отдельные алгоритмы, так как эвристически разного рода данные получаются с использованием отличных друг от друга методов и анализа. Рассмотрим некоторые алгоритмы (рис. 1).

Данные, которые извлекаются из аккаунтов друзей пользователя, не всегда могут быть достоверны, в связи с чем алгоритм может выдавать некорректные результаты. Повысить точность результатов можно посредством рекурсивного применения данного алгоритма сначала к друзьям анализируемого пользователя, потом к нему на основании полученных результатов. Увеличение числа шагов рекурсии позволяет достигать более точных результатов, но при этом существенно увеличивается вычислительная сложность алгоритма.

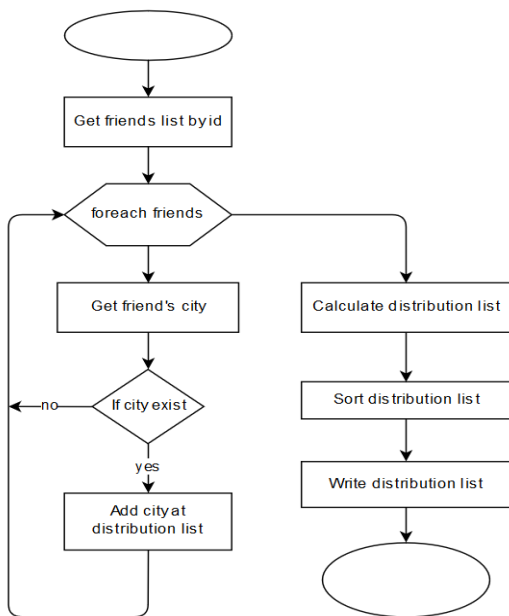


Рис. 1. Блок-схема алгоритма восстановления города проживания

Тестирование показывает, что анализ с глубиной 2 даёт оптимальный результат. Было проведено тестирование данного алгоритма на тысяче пользователей с глубиной анализа 2, которое показало высокие результаты (97% точности). На рис. 2 показаны результаты применения алгоритма для восстановления города проживания пользователя.

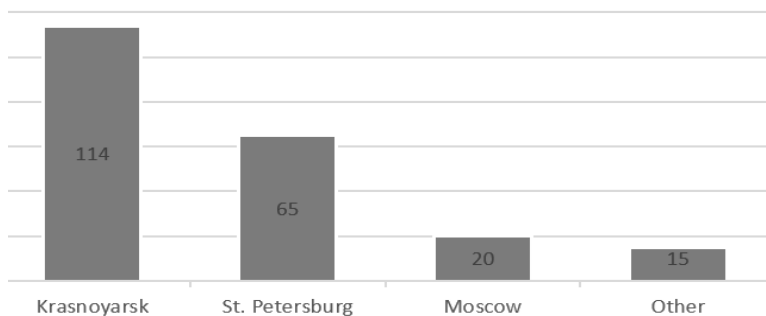


Рис. 2. Результат работы программного модуля, реализующего алгоритм

Алгоритм восстановления возраста пользователя отличается от предыдущего. Большинство пользователей социальной сети ВКонтакте скрывают год своего рождения, поэтому обычный анализ друзей с малой вероятностью даст правильный результат. Идея следующего алгоритма заключается в следующем: пользователи, не указывая дату своего рождения, зачастую указывают школу или университет с годом окончания, что дает возможность идентифицировать год рождения. На рис. 3 представлена схема описанного подхода.

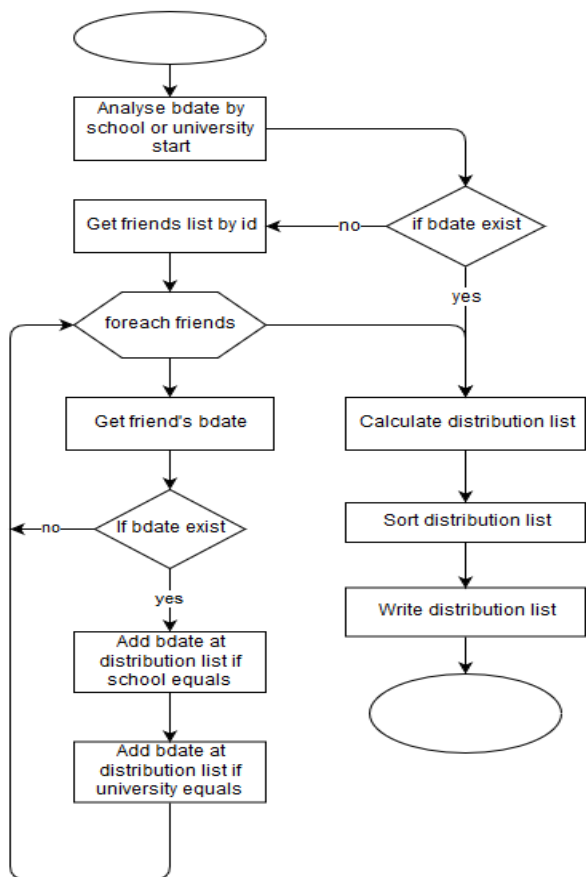


Рис.3. Блок-схема алгоритма для восстановления года рождения пользователя

В данном случае также целесообразно использовать перебор с глубиной 2, что дает высокий результат распознавания. Алгоритмы проверки схожести данных о школе и университете строятся по принципу определения равнозначных полей (название учреждения, год поступления, год окончания, направление и так далее). Если значения полей не указаны, осуществляется поиск множества людей, которые являются друзьями и у которых данные об учебных заведениях совпадают. На основе этих данных строится комбинация, которая и берется за основу.

### **3. Сбор и агрегирование данных различных социальных сетей**

Помимо модуля для работы с социальной сетью ВКонтакте разрабатывается также модуль, целью которого является сбор и агрегация данных из других социальных сетей, таких как 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/>).

Сбор информации из большого количества источников будет способствовать построению профиля уязвимостей пользователя. Одной из задач в этом контексте является сопоставление аккаунтов одного пользователя в разных социальных сетях. Это делается путем сравнения двух объектов памяти: информационного объекта пользователя в одной социальной сети и в другой. Из-за того, что в различных социальных сетях имеется различный набор информации о пользователе, проверка в разных случаях осуществляется по разным параметрам личных данных пользователя [Shindarev et al., 2017]. Также у различных полей информации есть собственный вес. Например, совпадение по возрасту даст нам меньше оснований полагать, что это один и тот же человек, в отличие от школы. В конечном итоге если, с учетом весов полей, большинство данных совпадает, а также есть одни и те же друзья (подписки) в двух различных социальных сетях, то считается, что страницы принадлежат одному и тому же пользователю.

На рис. 4 представлена визуализация сопоставления аккаунтов одного и того же пользователя в социальных сетях ВКонтакте и Facebook. Не все пользователи могут иметь аккаунты в других социальных сетях, поэтому не все вершины на рис. 1 имеют проекции.

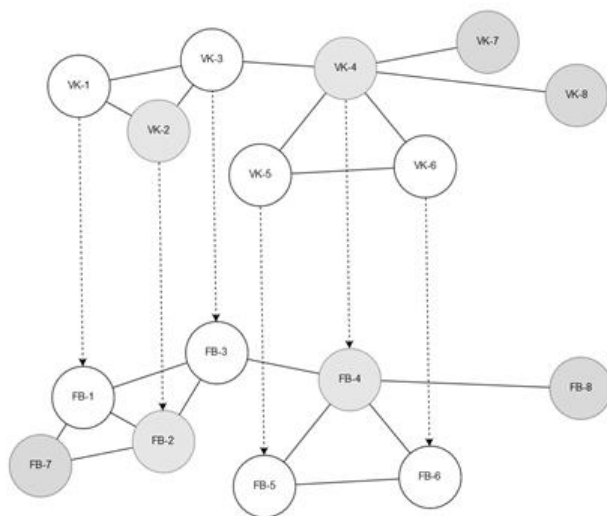


Рис. 4. Проекция социальных графов

## Заключение

Таким образом, представлены алгоритмы для восстановления фрагмента мета-профиля пользователя, формализована задача сопоставления аккаунтов пользователя в разных социальных сетях. Приведённые алгоритмы были реализованы в программном модуле, результаты его работы представлены в тексте работы. Данные алгоритмы и реализация делают существенный вклад в построение профиля уязвимостей пользователя, который служит основой для анализа оценки защищённости пользователей информационных систем от социинженерных атак.

## Список литературы

- [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.
- [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.
- [Бартунов и др., 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.

- [**Коршунов и др., 2014**] Коршунов А., Белобородов И., Бузун Н., Аванесов В., Пастухов Р., Чихрадце К., Козлов И., Гомзин А., Андрианов И., Сысоев А., Ипатов С., Филоненко И., Чуприна К., Турдаков Д., Кузнецов С. Анализ социальных сетей: методы и приложения // Труды Института системного программирования РАН, 2014, Т. 26, № 1.
- [**Тулупьева и др., 2010**] 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 социоинженерных атак // Труды СПИИРАН, 2010, Т. 1, № 12.
- [**Bartunov et al., 2012**] Bartunov S., Korshunov A., Park S. T., Ryu W., Lee H. Joint link-attribute user identity resolution in online social networks // Proceedings of the 6th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Workshop on Social Network Mining and Analysis. ACM. 2012.
- [**Irani et al., 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. Vol. 3.
- [**James, 2002**] James A. Lewis, Assessing the Risks of Cyber Terrorism, Cyber War and Other Cyber Threats // Center for Strategic and International Studies. 2002.
- [**Kaspersky, 2017**] The Human Factor in IT Security: How Employees are Making Businesses Vulnerable from Within [Электронный ресурс]// Kaspersky Lab. — <https://www.kaspersky.com/blog/the-human-factor-in-it-security>.
- [**Kontaxis et al., 2011**] Kontaxis G., Polakis I., Ioannidis S., Markatos E.P. Detecting social network profile cloning // 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). 2011.
- [**Mail.ru, 2017**] Социальные сети в России: исследование Mail.Ru Group. – <https://corp.imgsmaill.ru/media/files/issledovanie-auditorij-sotcialnykh-setej.pdf>.
- [**Malhotra et al., 1997**] Malhotra A., Totti L., Meira Jr W., Kumaraguru P., Almeida V. Studying user footprints in different online social networks // 2012 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). 2012.
- [**Mislove A. et al., 2010**] Mislove A., Viswanath B., Gummadi K.P., Druschel P. You are who you know: inferring user profiles in online social networks // Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining. ACM. 2010.
- [**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). 2017. Vol. 1.
- [**Zheleva E. et al., 2009**] Zheleva E., Getoor L. To join or not to join: the illusion of privacy in social networks with mixed public and private user profiles // Proceedings of the 18th international conference on World wide web. ACM. 2009.

УДК 004.89:612.821:343.98

## ЗАВИСИМОСТЬ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДПИСИ ОТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ ИСПОЛНИТЕЛЯ: ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

С.М. Гусакова (*svem45@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

В работе предлагается подход к решению с помощью ДСМ-метода задачи выявления влияния психофизиологических характеристик человека на особенности выполнения им подписи. Описывается язык представления данных, операция сходства и выбирается стратегия решения задачи.

**Ключевые слова:** обратный ДСМ-метод с дополнительными параметрами, язык представления данных, операция сходства, психофизиологические характеристики индивидуума

### Введение

Широко распространенная на Западе и начинающая распространяться в нашей стране графология претендует на определение характера человека по особенностям его почерка или только подписи. По мнению, высказанному в [Орлова, 2006], это повлияло на то, что за рубежом проблема установления личностных характеристик по почерку находилась в поле зрения не криминалистов и медиков, а графологов. Однако графология не имеет научного обоснования. Вместе с тем, и в психологии, и в почерковедении предполагается наличие связи между психофизиологическими характеристиками человека и особенностями его почерка. Некоторые исследования в этой области проводились [Хускивадзе и др., 1982; Сидельникова Л.В., 1988]), но автор обзора по этому вопросу [Петрова, 2016] считает, «очевидным тот факт, что рассматриваемое направление почерковедческой диагностики нуждается в теоретическом и экспериментальном обосновании». Возможность применения ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований для решения такой задачи была показана в [Гусакова и др., 2008], а в [Комаров, 2010] на базе ДСМ-метода создан инструментарий,



реализующий интеллектуальный анализ данных для выявления зависимостей между психофизиологическими характеристиками человека и особенностями его почерка.

В настоящей работе предлагается подход к решению задачи выявления зависимости особенностей подписи человека от его психофизиологических характеристик. В отличие от задачи, рассмотренной в [Гусакова и др., 2008] и [Комаров, 2010], для описания психофизиологических характеристик выбрано несколько направлений, дополняющих друг друга, что определило выбор более сложной ДСМ-стратегии. Кроме того, описание подписи существенно отличается от описания почерка в целом.

В связи с недостаточной проработкой теоретической базы в этом вопросе, ДСМ-метод может использоваться не только с целью выявления закономерностей, но и для создания предпосылок выдвижения теоретических концепций.

Для описания психофизиологических характеристик были выбраны опросники: структуры темперамента В.М. Русалова (ОСТ), черт характера (ОЧХ), САН (самочувствие, активность, настроение) и уровня агрессивности Басса–Перри (БП).

При создании модели предметной области следует учитывать, что особенности почерка определяют: а) природные факторы, б) средовые условия, в) сознательное воздействие индивидуума. Но в связи с тем, что в подписи двигательный навык закреплен более прочно, чем в почерке в целом, можно предположить, что влияние средовых условий ослаблено. (Случаи сознательного воздействия в данном исследовании не рассматриваются).

Существенно, что и психофизиологические и почерковые особенности человека достаточно устойчивы во времени. Это делает возможным решение поставленной задачи.

При создании языка представления данных для описания психофизиологических характеристик человека учитываются шкалы опросников и значения этих шкал, полученные в результате тестирования испытуемых. Опросник ОСТ имеет 8 шкал, ОЧХ – 10. Для этих опросников каждая шкала имеет значения В – высокое, С – среднее и Н – низкое. Значения определяются интервалом, в который попадает сумма баллов, полученных при ответах на вопросы, соответствующие данной шкале. Эти значения уточняются дополнительными значениями В, С, Н в зависимости от того, в левом или правом конце интервала, или в его середине находится суммарное значение баллов.

Три шкалы опросника САН оцениваются соответствующими суммарными баллами. Таким образом, результат тестирования по опроснику САН описывается тремя числами – суммарными балами, соответствующими трем шкалам самочувствие, настроение, активность, и

дополнительным признаком, имеющим два значения, определяемые соотношением баллов разных шкал.

Опросник БП имеет три шкалы, которые также оцениваются суммарными баллами. Есть также для каждой шкалы нормативные значения (разные для мужчин и женщин). Допустимый интервал суммарных баллов делится на части – ниже нормы (НН), близко к норме (Н), выше нормы (ВН). Этими тремя значениями описывается результат тестирования по опроснику БП.

Подпись индивидуума описывается общими и частными признаками, разработанными в почерковедении. При создании языка представления данных для описания подписи в данной задаче надо учитывать, что ищется сходство подписей разных людей. В криминалистике для решения идентификационной задачи почерковедческой экспертизы частные признаки описывают особенности написания букв и их соединения, а в подписях разных людей может не встретиться одинаковых букв. Поэтому для решения предлагаемой задачи частные признаки должны быть обобщены. Например, вместо особенностей выполнения конкретных букв, нужно ввести обобщенный признак – особенности выполнения одинаковых элементов разных букв.

### Подход к решению задачи

В базе фактов (БФ) ДСМ-системы примеры (факты) записываются в виде:  $(J_{\langle v, 0 \rangle} (C_i \Rightarrow Q_i))$ , что читается как «высказывание «объект  $C_i$  обладает множеством свойств  $Q_i$ » имеет истинностное значение  $\langle v, 0 \rangle$ »,  $v = +1, -1, \tau$ .

В рассматриваемой задаче объект естественно называть субъектом или индивидуумом. Следует учитывать, что описание субъекта (обозначим его через  $\hat{C}_i$ ) состоит из значений шкал  $T_1, T_2, T_3, T_4$  четырех опросников. При этом  $T_1$  – основное описание субъекта, а  $T_2, T_3, T_4$  рассматриваются как дополнительные параметры.

Свойства, проявляемые субъектом – это совокупность значений общих и обобщенных частных признаков подписи. Следовательно, субъект и его свойства описываются как кортежи.

Операция схождения должна определяться на описании каждого опросника и описании подписи. Поскольку все данные представлены в виде кортежей, операция схождения для них определяется поэлементно.

Обозначим через  $Z$  множество всех значений шкал опросников ОСТ или ОЧХ (поскольку множество значений для всех шкал этих опросников совпадают, уточнение шкалы не требуется). Уточненные значения нумеруются от 1 до 9:  $z_1 = Нн$ ,  $z_2 = Нс$ ,  $z_3 = Нв$ ,  $z_4 = Сн$ ,  $z_5 = Сс$ ,  $z_6 = Св$ ,  $z_7 = Вн$ ,  $z_8 = Вс$ ,  $z_9 = Вв$ .

В множество  $Z$  всех значений шкалы добавим значения  $(z_j, z_{j+1})$ ,  $j = 1, \dots, 8$  и нулевой элемент  $\Lambda$ . Полученное множество обозначим через  $\hat{Z}$ . Операцию схождения  $\Pi$  на множестве  $\hat{Z}$  определим следующим образом:

$$z_i \Pi z_j = \begin{cases} z_i, & \text{если } i = j \\ (z_i, z_j), & \text{если } j = i+1 \text{ или } i = j+1 \\ \Lambda & \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$$(z_i, z_{i+1}) \Pi z_h = \begin{cases} (z_i, z_{i+1}), & \text{если } h = i \text{ или } h = i+1 \\ \Lambda & \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$$(z_i, z_{i+1}) \Pi (z_j, z_{j+1}) = \begin{cases} (z_i, z_{i+1}), & \text{если } i = j \\ \Lambda & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

Нетрудно убедиться, что для так определенной операции выполняются свойства операции схождения: идемпотентность, коммутативность, ассоциативность.

Очевидно, что множество  $\hat{Z}$  с операцией схождения  $\Pi$  образует нижнюю полурешетку.

С нижней полурешеткой связано отношение порядка, которое участвует в определении отношения вложения  $\subseteq$ , используемого в правилах вывода по аналогии. Отношение вложения задается на множестве описаний субъектов и подмножеств этих описаний, где полное описание имеет вид:  $x_1, \dots, x_8$  для опросника ОСТ и  $x_1, \dots, x_{10}$  для ОЧХ, а в подмножестве на любом месте (но не на всех одновременно) вместо  $x$  может стоять  $(x_i, x_{i+1})$  или  $\Lambda$ . Поэлементное вложение, которое сначала должно быть определено, соответствует решеточному отношению порядка:

$$z_i \subseteq z_j \iff z_i \Pi z_j = z_i, z_i \in Z, z_j \in Z;$$

$$((z_i, z_{i+1}) \subseteq z_i) \& ((z_i, z_{i+1}) \subseteq z_{i+1});$$

$$((z_i, z_{i+1}) \subseteq (z_j, z_{j+1})) \iff i = j;$$

$$\forall z \in \hat{Z} (\Lambda \subseteq z).$$

Для опросников САН и БП операция схождения имеет непустой результат только при совпадении значений одноименных шкал, равный этому значению.

При использовании в почерковедении ДСМ-метода выделяется максимально широкое пространство признаков в отличие от выделения специфических признаков при создании специализированных методик для почерковедческой экспертизы. Участие эксперта-специалиста в данной предметной области на этом этапе обязательно.

Обозначим через  $Y$  множество всех признаков, которые могут встретиться в подписи. Тогда подпись можно представить в виде:  $\{y_{ji}\}$ , где  $j = 1, \dots, |Y|$ ,  $i$  – номер значения  $j$ -го признака. Поскольку в подписи встречаются не все признаки, на многих местах этого кортежа могут стоять  $\Lambda$ .

Следует заметить, что поскольку для исследования берутся несколько подписей одного и того же человека, некоторые признаки в разных экземплярах могут менять значение. С учетом того, что в почерке есть как устойчивость, так и вариативность, результирующее значение признака будет зависеть от количества отклонений. Если в большинстве экземпляров значение признака сохраняется, то оно и берется как результирующее. Если примерно равное число экземпляров имеет разные значения, то признаку присваиваются все эти значения. Таким образом, признак может иметь одновременно несколько значений.

Операция сходства определяется в виде:

$$y_i \Pi y_j = y_i \cap y_j, \text{ если } y_i \cap y_j \neq \emptyset, \Lambda \text{ в остальных случаях.}$$

Так как предполагается, что главное влияние на особенности почерка оказывает структура темперамента,  $T_1$  естественно рассматривать как главную часть в описании субъекта, а  $T_2, T_3, T_4$  как дополнительные параметры. То есть, задача формулируется аналогично задаче формализованного социологического анализа с параметром ситуации [Финн и др., 2009].

Таким образом, факт в базе фактов ДСМ-системы может быть записан не в виде двуместного, а в виде пятиместного предиката  $R(T_1, Y; T_2, T_3, T_4)$ , читаемого как «субъект  $T_1$  обладает множеством свойств  $Y$  при дополнительных параметрах  $T_2, T_3, T_4$ », где  $T_1, T_2, T_3, T_4$  – расширенный субъект  $\hat{C}$ , представляющий собой описание субъекта по шкалам четырех опросников,  $Y$  – множество значений признаков, описывающих подпись субъекта.

При такой постановке встает вопрос о выделении положительных и отрицательных примеров (фактов) в базе фактов. Ответ на этот вопрос дает возможность проведения дополнительных исследований. Так, если примеры делятся на положительные и отрицательные по полу или возрасту, это позволяет проследить, зависит ли характер исследуемого влияния от пола или возраста.

Поскольку предполагается, что особенности выполнения подписи зависят от особенностей психофизиологических черт индивидуума, но описание подписи в языке представления данных информативнее, чем описание психофизиологических черт, для решения задачи должен применяться обратный вариант ДСМ-метода [Гусакова и др., 2009].

Анализ возможных вариантов выполнения обратного предиката сходства позволит помимо нахождения гипотез вида «подмножество  $W$  признаков подписей является следствием подмножества  $V$  психофизиологических характеристик» сделать выводы о влиянии дополнительных параметров на

признаки подписи. Так, если множества свойств  $W$  и  $W'$  являются следствием одного и того же подмножества  $V$  значений характеристик из  $T_1$ , но с разными подмножествами дополнительных параметров, то это свидетельствует о влиянии этих параметров. Может быть так, что множество признаков  $W$ , встретившихся в разных подписях, являются следствием разных подмножеств значений характеристик из  $T_1$ . Если при этом подмножества значений дополнительных параметров разные, то значит их влияние существенно.

Кластеры субъектов, породивших минимальные гипотезы, могут лечь в основу создания подструктуры структуры темперамента (см. [Гусакова и др., 2016]).

### Заключение

Результаты интеллектуального анализа данных могут послужить для исследователя основанием для корректировки аксиом предметной области и выдвижения теоретических концепций.

Апробация результатов должна проводиться в виде выдвижения гипотез о структуре темперамента по признакам подписей субъектов с дальнейшим сравнением со значениями шкал опросников, полученными тестированием указанных субъектов.

Для нахождения кластеров субъектов, породивших минимальные гипотезы, может быть использована техника представления базы фактов в виде пространств сходства и нахождения ядер этих пространств [Gusakova, 2018].

Для подтверждения полученных результатов необходимо проверить их устойчивость, т.е. выяснить, сохраняются ли истинностные значения полученных гипотез о причинах в цепочке расширяющихся баз фактов [Финн, 2015].

**Благодарности.** Автор выражает благодарность к.п.н. Н.В. Чудовой за подбор опросников и полезные консультации по психологии.

### Список литературы

[Гусакова и др., 2016] Гусакова С.М., Михеенкова М.А. Интеллектуальный анализ данных как инструмент формирования структуры социума // Научно-техническая информация, сер. 2, 2016, №8.

[Гусакова и др., 2009] Гусакова С.М., Михеенкова М.А., Финн В.К. О логических средствах автоматизированного анализа мнений // Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах. Под ред. В.К. Финна. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009.

[Гусакова и др., 2008] Гусакова С.М., Комаров А.С. Выявление связи особенностей высшей нервной деятельности и почерка методом интеллектуального анализа

- данных // XI Национальная конференция с международным участием «Искусственный интеллект-2008» – Дубна, 2008 – Труды конференции в 3 т., 2008.
- [**Комаров А.С., 2010**] Комаров А.С. Логические и программные средства интеллектуального анализа криминалистических данных: дис. ... кандидата технических наук – М.: ВИНТИ РАН, 2010.
- [**Орлова В.Ф., 2006**] Орлова В.Ф. Судебно-почерковедческая диагностика. Учебное пособие для студентов вузов. – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2006.
- [**Петрова С.И., 2016**] Петрова С.И. Диагностика психологических свойств по почерку (криминалистические, физиологические и психологические аспекты). // Известия Тульского гос. университета. Экономика и юридические науки. Тула, 2016, № 1-2.
- [**Сидельникова Л.В., 1988**] Сидельникова Л.В. Принципы разработки перечней признаков почерка в целях создания методик определения свойств личности по почерку // Теория и методика судебно-почерковедческого и технического исследования документов. – М., 1988.
- [**Финн В.К. и др., 2009**] Финн В.К., Михеенкова М.А О ситуационном расширении ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // В кн. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах – М.: URSS, 2009.
- [**Финн В.К., 2009**] Финн В.К. Обнаружение эмпирических закономерностей в последовательностях баз фактов посредством ДСМ-рассуждений // Научно-техническая информация. Сер. 2, 2015, № 8.
- [**Хускивадзе Т.Х и др., 1982**] Хускивадзе Т.Х., Погибко Ю.Н., Ефремов В.А. О возможности установления зависимости признаков почерка от свойств личности // Экспресс-информация ВНИИСЭ, 1982, № 1.
- [**Gusakova, 2018**] Gusakova S.M. Analysis of Spaces of Similarity Generated by a Fact Base in JSM Problems // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2018. 52(1).

УДК 681.51

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСОСКЕЛЕТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДСМ-МЕТОДА

Д.А. Добрынин (*minirobot@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

В работе описаны основные принципы построения обучаемой системы управления активным экзоскелетом для медицинской реабилитации. Система управления построена с использованием интеллектуальной системы на основе динамического ДСМ-метода.

**Ключевые слова:** машинное обучение, ДСМ-метод, экзоскелет, система управления

### Введение

Экзоскелеты прочно входят в нашу жизнь и становятся важным инструментом, расширяющим возможности человека. Одной из важных задач является управление активным экзоскелетом для задач медицинской реабилитации. Следует отметить, что во многих случаях по естественным причинам человек в такой системе является чисто пассивным звеном, например, при атрофии нижних конечностей или недостаточной подвижности. Движение экзоскелета в таких случаях происходит самостоятельно, человек задает желаемый режим движения – встать, подойти, присесть. К системам такого типа относятся, например, экзоскелет компании REX Bionics из Новой Зеландии и экзоскелет ExoLite Юго-Западного государственного университета из г. Курск (рис. 1). Для эффективного использования подобных систем важно обеспечить плавность движения, безопасность и подстройку движений под каждого конкретного человека.

Эта задача может быть решена различными методами: от построения траектории математическими методами до различных методов искусственного интеллекта (ИИ). Так как активный экзоскелет является системой реального времени, то естественно, что при реализации предпочтение будет отдаваться методам, обладающим наименьшей вычислительной сложно-

стью, при сохранении приемлемого качества управления. Одними из перспективных являются методы искусственного интеллекта, основанные на обучении, позволяющие получить требуемый результат и обойтись без построения сложных математических моделей.



Рис. 1 Экзоскелеты Exolite и REX Bionics

## 1. Постановка задачи

Рассмотрим активный экзоскелет, включающий пару ног с несколькими степенями свободы каждая (рис. 2). Для обучения движению можно использовать человека, одетого в конструктивно похожий экзоскелет с датчиками положения звеньев.

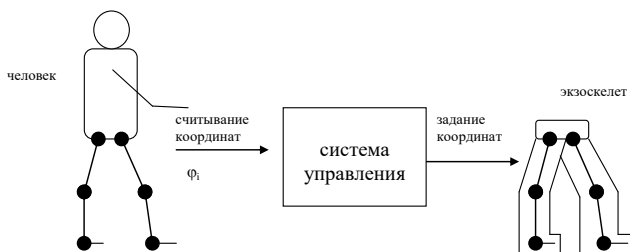


Рис. 2 Активный экзоскелет

Каждое звено характеризуется координатой  $\varphi_i$ , определяющей его положение, и скоростью  $\dot{\varphi}_i$ . Система управления должна запомнить изменения координат и скорости, чтобы впоследствии выдавать требуемую траекторию для звеньев автономного экзоскелета. Эта задача похожа на задачу планирования траектории с тем отличием, что нужно учитывать силы инерции и положение центра тяжести.



Если рассматривать характер задания координат, то в простейшем случае используется линейная многомерная интерполяция исходных координатных функций с непрерывной первой производной (скоростью). Это связано с необходимостью управления приводами звеньев в мягком режиме – без рывков и резких остановов.

Сложность данной задачи заключается в необходимости одновременного управления многими степенями свободы. В соответствии с минимальными требованиями к экзоскелетам для реабилитации необходимо обеспечить для одной нижней конечности от 2 до 6 степеней свободы. Для двух ног такая система управления должна иметь уже 4–12 степеней свободы. При этом в режимах ходьбы, вставания, удержания равновесия необходимо управлять всеми приводами, учитывая положение центра тяжести и силы инерции. Сложность математической модели такой системы достаточно высока, поскольку описывается системами уравнений 8–24 порядка. Для более сложных движений необходимо увеличивать количество степеней свободы, что еще больше усложняет задачу. Решение таких задач «в лоб» путем численного интегрирования в режиме реального времени на сегодняшний день не представляется возможным. Поэтому активно используются различные упрощенные подходы, позволяющие получить приемлемое решение [Яцун и др., 2016].

Одним из методов построения обучаемой системы управления является использование нейронных сетей. Например, в работе [Кожевников и др., 2012] рассматривается применение нейронных сетей для планирования траектории сварочного робота-манипулятора с шестью степенями свободы в условиях сложной рабочей зоны с препятствиями. Недостатком использования нейронных сетей является экспоненциальный рост времени обучения при возрастании сложности (повышении точности), что не позволяет их обучать в реальном времени.

Другим перспективным методом, пригодным для построения обучаемой системы управления, является динамический ДСМ-метод [Добрынин, 2006]. На мобильном роботе «Амур» [Добрынин и др., 2006] проводились эксперименты по построению обучаемой системы управления с помощью динамического ДСМ-метода. В качестве примера было взято движение робота по контрастной полосе, когда робот имеет фотодатчики и двигается по полосе. Требовалось построить управляющую систему, которая бы заставляла робота корректно двигаться по этой полосе. Метод показал адекватность обученных систем поставленной задаче.

## 2. Динамический ДСМ-метод

Для создания системы управления, способной обучаться, можно построить классификатор входных сигналов с помощью ДСМ-метода. ДСМ-метод

автоматического порождения гипотез [Финн, 1991] является теорией автоматизированных рассуждений и способом представления знаний для решения задач прогнозирования в условиях неполноты информации. Классический ДСМ-метод работает с замкнутым множеством примеров, которое формируется экспертом и составляет базу знаний. Каждый пример описывается множеством элементарных признаков и наличием (или отсутствием) целевого свойства. С помощью специальных логических процедур из этой базы знаний ДСМ-система получает гипотезы, которые объясняют свойства исходных примеров из-за наличия или, наоборот, отсутствия в структуре примеров определенной совокупности признаков. Таким образом, ДСМ-система выделяет из исходной информации в базе знаний существенные совокупности признаков, то есть осуществляет автоматическую классификацию. ДСМ-метод успешно применим в тех областях знаний, где пример можно представить в виде множества (или кортежа) элементарных признаков.

В отличие от классического ДСМ-метода, который работает с замкнутым множеством исходных примеров и заранее определенными их свойствами, динамический ДСМ-метод позволяет работать в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров [Добрынин, 2006].

Динамический ДСМ-метод работает в двух режимах:

- режим обучения, когда происходит заполнение базы фактов и генерируются гипотезы, составляющие базу знаний;
- рабочий режим, когда полученные ранее гипотезы используются для выработки сигналов управления.

Множество обучающих примеров – это множество пар вида

$$E = \{e_i\} = \{(\mathbf{X}_i, u^i)\},$$

где  $\mathbf{X}_i$  – вектор сигналов рецепторов,  $u^i$  – вектор управления (состояние исполнительных механизмов). Элементы векторов сигналов и управления представляются парами следующих двоичных значений: включено = {01}, выключено = {10}, не важно = {00}.

Такое представление необходимо для корректного выполнения операций пересечения и вложения над битовыми строками. Операция пересечения при использовании битовых строк реализуется с помощью логической функции «побитовое И». Операция вложения, отвечающая на вопрос – входят ли все компоненты объекта А в объект В, реализуется как «побитовое И» элементов объектов А и В, а затем сравнение результата с элементами вкладываемого объекта А.

Гипотезы представляются в виде множества пар вида:

$$G = \{g_i\} = \{\{x_i, y^i\}\},$$

где  $x_i$  – часть вектора сигналов рецепторов,  $y^i$  – требуемый вектор управления (необходимое действие). Гипотезы существуют двух видов: положительные гипотезы определяют, при каком входном воздействии выполнять действия, приводящие к положительному результату; отрицательные гипотезы определяют, какие действия не нужно делать при данном входном воздействии.

В режиме обучения для формирования обучающих примеров используется внешняя система, получающая на вход информацию от рецепторов и вырабатывает управляющие сигналы, необходимые для адекватного поведения робота. Совокупность сигналов рецепторов и выработанных для них управляющих воздействий определяет один обучающий пример. Этот пример проверяется на уникальность и заносится ДСМ-системой в базу фактов. После занесения каждого нового примера во множество обучающих примеров производится поиск гипотез. На полученные гипотезы могут накладываться дополнительные ограничения, например, запрет на контрпримеры, когда положительная гипотеза не должна вкладываться в отрицательные примеры и наоборот. Эти ограничения определяются используемым ДСМ-методом [Финн, 1991].

Полученное множество гипотез будет содержать все возможные пересечения обучающих примеров. Далее среди них отбираются минимальные гипотезы, то есть такие, которые вкладываются в остальные. Тем самым число «полезных» гипотез резко сокращается. Полученные минимальные гипотезы проверяются на уникальность и заносятся в базу знаний.

Обучение должно проводиться до тех пор, пока база знаний не перестанет пополняться новыми гипотезами. Очевидно, что в этом случае обучающий алгоритм перебрал все возможные варианты входных воздействий, на которые он способен реагировать, и можно считать, что база фактов достаточно полна.

В рабочем режиме ДСМ-система получает на вход сигналы рецепторов, из которых формируется тестовый вектор. Принятие решения происходит путем проверки вложения гипотез в этот вектор. Если в тестовый вектор сигналов рецепторов вкладывается гипотеза, то робот должен действовать в соответствии с ней. Если же ни одной гипотезы не найдено, то это неизвестное состояние, для которого нужно сформировать случайный вектор управления (или, например, ничего не делать).

### 3. Обучение движению

Для обучения движению ДСМ-системы необходима внешняя система управления (учитель), которая принимает информацию от датчиков положения, их скорости и формирует управляющие воздействия (управляет двигателями) как показано на рис. 3.

В качестве такого учителя может выступать как сам человек, так и любая другая управляющая система. Например, в работе [Волкова и др., 2009] рассматривалось обучение с помощью нечеткой системы управления.

Основным требованием к обучающей системе управления является непротиворечивость команд управления. В противном случае, такие противоречивые команды могут «ввести в заблуждение» обучаемую систему, что приводит к игнорированию противоречивых входных сигналов, и соответственно, снижению качества обучения.

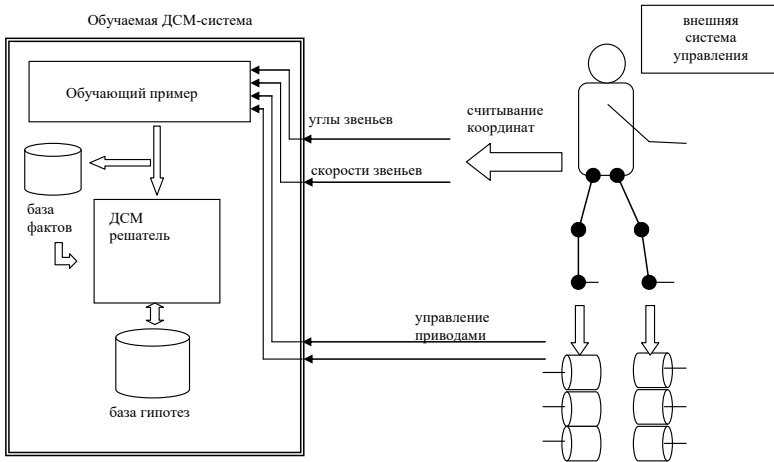


Рис. 3 Обучение ДСМ-системы

Сам процесс обучения ДСМ-системы выглядит следующим образом.

Во-первых, «учитель» получает входную информацию и вырабатывает управляющие воздействия. Вся эта информация подается в ДСМ-систему, при этом формируется «обучающий пример», который ДСМ-система заносит в базу фактов. Если в этой базе фактов такой пример уже есть, то ничего не происходит.

Во-вторых, если появляется новый обучающий пример, ранее не встречающийся в базе фактов, то в этом случае он передается ДСМ-решателю,

который формирует с его помощью новую гипотезу. Если полученная гипотеза удовлетворяет критериям непротиворечивости, то она добавляется в базу гипотез.

В-третьих, пополнение базы фактов и получение новых гипотез проводится до тех пор, пока работает режим обучения.

Критерием завершения обучения может служить тот факт, что перестает пополняться база гипотез. Это означает, что на вход обучаемой системы не поступает новая информация. После окончания режима обучения ДСМ-система имеет набор гипотез, которые в дальнейшем используются для работы обученной системы управления.

Работа обученной таким способом системы управления описана выше.

Эксперименты на компьютерных симуляторах и натурные эксперименты на мобильных роботах показывают, что внешние отличия в характере движения робота между работой системы-учителя и обученной с ее помощью ДСМ-системы практически отсутствуют. Это говорит о высоком качестве работы обученной системы управления.

## **Заключение**

Ввиду высокой сложности математических моделей многозвенных механизмов, к которым относятся активные экзоскелеты, перспективным является использование обучения для построения систем управления такими устройствами.

При реализации практических алгоритмов встает проблема ограниченности вычислительных ресурсов системы управления активного экзоскелета. Это связано как с ограничением стоимости экзоскелета, так и с требованиями низкого энергопотребления. Если нейронные сети ввиду своей архитектуры требуют весьма больших затрат, то для работы ДСМ-метода достаточно небольших вычислительных ресурсов. Высокая скорость обучения и нетребовательность к вычислительным ресурсам, позволяют выделить динамический ДСМ-метод как один из перспективных методов для построения обучаемой системы управления для роботов.

Ограничением использования данного метода является необходимость представления входных данных в виде дискретного множества. Разбиение на интервалы исходных непрерывных значений позволяет только частично решить эту проблему, поскольку для увеличения точности необходимо уменьшать шаг дискретизации, а при этом быстро растет размерность внутреннего представления данных и снижается быстродействие.

## Список литературы

- [Волкова и др., 2009] Волкова Т.А., Добрынин Д.А. Сравнение системы нечеткого вывода и обучаемой ДСМ-системы при планировании движения мобильного робота // Труды V Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления», 20-30 мая 2009 г., Коломна. – М.: Физматлит, 2009., Т. 1.
- [Добрынин, 2006] Добрынин Д.А. Динамический ДСМ-метод в задаче управления интеллектуальным роботом // X Национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2006, 25-28 сентября 2006 г., Обнинск, Труды конференции. – М.: Физматлит, 2006, Т. 2.
- [Добрынин и др., 2006] Добрынин Д.А., Карпов В.Э. Моделирование некоторых форм адаптивного поведения интеллектуальных роботов // Информационные технологии и вычислительные системы, 2006, № 2.
- [Кожевников и др., 2012] Кожевников М.М., Господ А.В. Планирование траекторий промышленных роботов на основе нейронных сетей // Исследования наукограда, 2012, № 1 (1).
- [Финн, 1991] Финн В.К. Правдоподобные рассуждения в интеллектуальных системах типа ДСМ // Итоги науки и техники. Сер. «Информатика». Т. 15. – М.: ВИНТИ, 1991.
- [Яцун и др., 2016] Яцун С.Ф., Савин С.И., Яцун А.С., Мальчиков А.В. Изучение управляемого движения экзоскелета во фронтальной плоскости в режиме восстановления равновесия // Труды Международной научно-технической конференции ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА-2016, СПб, 2016.

## СПОСОБНЫ ЛИ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОТВЕТИТЬ НА АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ПРИЛОЖЕНИЙ

М.И. Забежайло (*m.zabekhailo@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

Обсуждаются некоторые вызовы современным методам и решениям Искусственного Интеллекта, формируемые критически важными приложениями. Представлен краткий обзор возможностей систем интеллектуального анализа данных, использующих формальные уточнения понятия сходства описаний прецедентов.

**Ключевые слова:** машинное обучение, интеллектуальный анализ данных, искусственный интеллект, формализации понятия сходства

### Введение

Как проблематика в целом, Искусственный Интеллект (ИИ) сегодня находится в фокусе внимания общества (см., например, [Bogost, 2017; Varno et al., 2016; Tan, 2017; Von Grassegeret al., 2016]). Практически любое событие в этой области сопровождается «медные трубы» в масс-медиа, ему даровано покровительство Лиц, Принимающих Решения (ЛПР) самого верхнего уровня. Ничего удивительного, – мода! Однако, если взглянуть на ИИ как на область исследований, то несложно убедиться, что у этой «медали» (как в прочем и у всех иных) есть и другая, в данном случае – весьма при- скорбная «сторона»: характеристики ИИ как *области исследований* в настоящий момент оказались непростительно размытыми. Осмысленность ряда задействованных здесь понятий вызывает вопросы, границы возможностей используемых в этой области знания методов и прикладных решений зачастую весьма нечетки, а заклинания типа «*ИИ нам посчитает, ИИ может все*» вообще выводят эту проблематику за пределы серьезной области научных исследований. И никакие высокопарные констатации, что сейчас искусственный интеллект *внезапно* и *довольно быстро* выходит из *исследовательских лабораторий* в *реальную жизнь*, (а проекты класса

[Allen, 2017; Pellerin, 2017] демонстрируют уже сегодня фантастические – по сравнению со складывавшейся десятилетиями практикой – сокращения жизненного цикла разработки высокотехнологичных промышленных систем и решений), не должны уводить профессионалов от сложившихся столетиями канонов ведения научного исследования. Ясно формулируемые предмет изучения и понятийная структура, доказуемая надежность используемых методов, а также границы их корректной применимости должны всегда оставаться процедурными «рамками», регулирующими исследовательскую деятельность и в области – ИИ.

## 1. Некоторые особенности ИИ как области исследований

В сложившейся (см. выше) ситуации представляются вполне естественными попытки уточнить: о чем (при упоминании ИИ) все-таки идет речь и что можно ожидать в рамках развиваемых сегодня подходов (см., например, [Legg et al., 2007; Legg et al., 2007a; Finn et al., 2017])?

Если стряхнуть разговорную шелуху и восторженные вопли неприсяжных к научным исследованиям приверженцев модных трендов, а также не обращать внимание на широковебательные (и, как правило, не подкрепляемые неоспоримыми аргументами) заявления (в частности на:

- декларации о том, что средствами нейронных сетей можно построить такой алгоритм машинного обучения, который, например, для воспроизведения результатов программы «Логик-теоретик» «сам построит такую функцию, которая будет решать» эту задачу, при этом не придется писать «...программу руками, а мы как бы обучаем программу получать тот функционал, который необходим» [Бурцев, 2017];
- не лишённые заманчивости предложения разрабатывать алгоритмы «глубокого машинного обучения на основе *результатов обратной инженерии мозга* для создания разговорного искусственного интеллекта» ([МФТИ-ИИ, 2017], стр. 9), где основной технологический риск идентифицируется в том, что – «планирование поведения (ведение диалога) требует многоуровневого *понимания ситуации* и необходимых ответных действий (там же, стр.14);

и т.п.), то приходится иметь дело с набором весьма непростых вопросов, умение удовлетворительным образом отвечать на которые и определяет востребованность практически значимыми приложениями соответствующих подходов, методов и решений ИИ.

В качестве примера вопросов (проблем) такого типа укажем на *объясняемость* решений, порождаемых системами ИИ, и на проблему «бесшовной» *интеграции* методов интеллектуального анализа данных, используемых экспертом и компьютерной системой. Так, проблема



*объясняемости* результатов (необходимость их интерпретируемости в понятных эксперту неформальных терминах), порождаемых системами искусственного интеллекта, оказывается критически важным требованием, выдвигаемым значимыми приложениями (в частности – военными, проблемами в области безопасности и медицины, финансовыми технологиями, например, [Allen, 2017; Pellerin, 2017]). Далеко не в последнюю очередь требование *объясняемости* обусловлено позиционированием современных систем искусственного интеллекта как компьютерных «усилителей» познавательных возможностей эксперта. То есть, интерактивный режим взаимодействия человека и компьютерной системы требует «бесшовной» интеграции моделей рассуждений – методов и средств интеллектуального анализа данных (ИАД), используемых человеком и компьютерной системой. И это понятно, ведь в конечном итоге ответственность за последствия принимаемых решений, лежит на эксперте (ЛПР).

Говоря о процедурных возможностях *объясняемости* порождаемых средствами ИАД выводов и рекомендаций, представляется полезным (и поучительным) сопоставить, в качестве примера, две популярные (широко используемые в реальных приложениях) техники интеллектуального анализа данных: так называемые *технологии XAI* (Explainable Artificial Intelligence [Gunning, 2016; JCAI-XAI, 2017]) и подходы на базе *формальных уточнений понятия сходства* описаний прецедентов [Журавлев, 1966; Журавлев, 1977; Журавлев, 1978; Рудаков, 1987; Рудаков, 1989; Финн, 2004; Финн, 2010].

## **2. Проблема объясняемости результатов ИИ-исследований**

С так называемым *Глубоким Обучением* (Deep Learning – DL) обычно ассоциируется технология использования многослойных нейронных сетей, структура которых оптимизируется (настраивается в процессе обучения) процедурами обратного распространения ошибки и градиентными методами ее минимизации. Результатом «настройки» подобной нейронной сети фактически является распределение весов на ее узлах (нейронах) и передаточных коэффициентов на ребрах между узлами. С формальной точки зрения – это вариант формирования регрессионных зависимостей специального вида между значениями входных переменных (характеризующих подаваемые на вход сети данные) и финального результата (прогноза, классификации, ...). Технология нейронных сетей известна уже более полувека, однако использование в ее реализации различных методов распараллеливания вычислений в комбинации с современными системно-техническими решениями (в том числе многопроцессорными-многоядерными-многопоточковыми вычислительными средами) оказалось весьма эффективным

направлением решения целого ряда актуальных и важных прикладных задач. Так, например, в проекте XAI агентства DARPA [Gunning, 2016] технологии *DL* отведена ключевая роль.

Нетрудно убедиться, что в силу «архитектурных» особенностей нейронных сетей «прямое» порождение объяснений (в представленном выше смысле) для результатов ИАД, выполняемого средствами Deep Learning попросту невозможно: связать полученные в ходе обучения сети «настройки» (веса и передаточные коэффициенты на узлах и ребрах сети) с какими-либо надежно аргументируемыми причинно-следственными характеристиками в общем случае не представляется возможным.

Понятие *сходства* прецедентов, используемое в ИАД, может иметь различные уточнения (см., например, [Jain et al., 2017; Kubat, 2017]). Рассмотрим два класса подобных формальных конструкций: во-первых, метрические (понимаемые как расстояния или же меры близости), во-вторых, представление сходства как бинарной алгебраической операции.

В рамках широко известного – так называемого *алгебраического* – подхода, развиваемого школой Ю.И. Журавлева и К.В. Рудакова ([Журавлев, 1966; Журавлев, 1978; Рудаков, 1989]), задача обучения на прецедентах в процессе ИАД рассматривается как неклассический вариант *интерполяционно-экстраполяционной* схемы анализа данных и прогноза. Здесь сперва на элементах исходной обучающей выборки прецедентов строится некоторое множество зависимостей, переносимость (или же, наоборот, непереносимость) которых на новые прецеденты и есть процедурное основание для соответствующего прогноза. Корректность такого прогноза обеспечена выполнимостью ряда рассчитываемых условий и ограничений, и основывается на формальных доказательствах существования корректных решений соответствующих математических задач (см., например, процедурную технику так называемых корректных алгебр над множествами эвристических алгоритмов [Журавлев, 1977; Рудаков, 1987]). Объяснение (в представленном выше смысле – как ответ на вопрос *ПОЧЕМУ...?*) порождаемых результатов ИАД в этом подходе опирается на доказуемое существование корректных решений соответствующих математических задач (например, в [Журавлев, 1977] – на существование базиса в соответствующем метрическом пространстве). А используемое здесь уточнение сходства метрическими средствами (т.е. содержательные представления о сходстве как о близости объектов в соответствующем пространстве) позволяет порождать легко понятные для ЛПП неформальные интерпретации результатов выполнения ИАД.

В свою очередь, при уточнении сходства как бинарной алгебраической операции (например, [Финн, 2004; Финн, 2010]) уже представленная выше неклассическая интерполяционно-экстраполяционная схема принимает

следующий вид: по (идемпотентной, симметричной и ассоциативной) операции сходства, – учитывая результаты ее применения, – формируется бинарное отношение сходства (толерантности). Затем для полученного отношения сходства формируются стандартные классы сходства, а далее восстанавливаются все образующие покрытие классов сходства классы эквивалентности (по всем фиксированным результатам применения имеющейся операции сходства на элементах исходной обучающей выборки прецедентов). Каждому полученному таким путем классу эквивалентности сопоставляется соответствующая эмпирическая зависимость, а вопрос об экстраполируемости какой-либо из имеющихся зависимостей на описание нового прецедента решается проверкой «попадания» этого описания в соответствующий этой зависимости класс эквивалентности. Проблема объяснения в данном случае (в отличие от характерных для большинства публикаций по абдуктивным рассуждениям обще-декларативных призывов – см., например, работу [Lambozo, 2017] в сборнике [Handbook, 2010]) решается конструктивно: предложена алгоритмическая конструкция, позволяющая в процессе обучения на исходной выборке прецедентов формировать в рамках соответствующего логико-математического формализма такие истинные (на имеющихся для обучения данных) утверждения, для которых исходные факты (описания прецедентов обучающей выборки) являются логическим следствиями. При этом эмпирические зависимости, на которых в данном подходе строится интерполяционно-экстраполяционная схема ИАД отражают причинно-следственные связи, характеризующие у прецедентов исходной обучающей выборки – примеров и контрпримеров – соответственно, наличие и отсутствие анализируемых в процессе ИАД свойств. Именно таким образом в рамках рассматриваемого подхода реализована уже рассмотренная выше технология порождения ответов на вопросы *ПОЧЕМУ...?* И, наконец, в качестве дополнительного объяснения всех результатов выполняемого ИАД здесь каждый раз могут быть предьявлены *«причинные носители»* соответствующих целевых свойств у объектов исходной обучающей выборки (автоматически выделяемые как результат вычисления сходств описаний соответствующих прецедентов).

### **3. О некоторых актуальных вызовах со стороны приложений**

Продолжая перечень «чувствительных» для ИИ (в его современном состоянии) проблем, обратимся еще к двум классам задач, которые актуальны для ряда критически важных приложений, и где, в свою очередь, востребованы «декларации о могуществе» методов и систем ИИ.

**Во-первых**, это – проблематика формирования типологий социума (как персональных, так и групповых), в частности, так называемое проблемно-ориентированное *«профилирование»* объектов (физических лиц, компаний,

тех или иных социальных групп) по отношению к заданным классам *свойств* (например: «наркоторговец»; *готовый к использованию огнестрельного оружия нарушитель общественного порядка; ненадежный контрагент по бизнесу*), в рамках которого активно используются первичные (так называемые «сырые») данные из различных источников (в частности, социальных сетей). В основе выполняемого здесь профилирования лежат те или иные методы обучения на описаниях прецедентов, а практическая эффективность (а в ряде случаев – и вообще применимость) формируемых профилей определяется весьма жесткими требованиями к уровню так называемых ошибок первого и второго рода (изъянам в полноте и точности порождаемых с их помощью результатов). С формальной точки зрения это – задача *восстановления отношения релевантности* («факторов влияния» целям профилирования) в процессе обучения на (заранее проанализированных экспертами) прецедентах. Поучительные примеры областей востребованности и успешной реализации подходов подобного типа – криминалистика (см., в частности, [Palantir, 2014; Schirmer, 2014; Palantir, 2014a]), противодействие отмыванию незаконных доходов и финансированию терроризма (см., в частности, [Ливадный, 2018]).

С технической (процедурной) точки зрения одним из вызовов профессионалам-разработчикам математических методов и систем искусственного интеллекта здесь оказывается способ (технология) представления знаний о каждом из объектов – описаний прецедентов, дающий возможности предложить адекватную (эффективно применимую на практике – позволяющую получать *практически значимые* и *объяснимые* результаты) формализацию понятия сходства описаний прецедентов (и, далее, формировать соответствующие классы сходства, используемые для классификации новых прецедентов). В частности, при использовании в качестве источника первичных данных социальной сети – графа специального вида с пометками на ребрах и вершинах – возникает проблема: с какой *глубиной*, в каких *направлениях* в этом графе следует выделять характеризующие описание конкретного объекта подграфы, и как далее следует «паковать» такие подграфы («нормализованные» описания исходных данных) в те или иные «инструменты» обучения на прецедентах – системы ИАД, машинного обучения?

Говоря о подходах и математических «техниках», позволяющих оперировать с данными обсуждаемого типа, можно привести весомые аргументы, что именно процедурный «инструментарий» ИАД, базирующегося на уточнениях понятия сходства (см. уже упомянутые выше подходы), предоставляет адекватные возможности для ответа на потребности рассматриваемого класса приложений ([Palantir, 2014; Schirmer, 2014; Palantir, 2014a; Ливадный, 2018]).

**Во-вторых**, учет *динамики* изменения в описаниях анализируемых объектов, когда, в частности, реализуя мониторинг и поведенческий анализ на основе данных из социальных сетей, необходимо определиться: как и с использованием каких именно *языков представления* данных и знаний, а также каких адекватных им *инструментов* ИАД, можно обеспечить учет и анализ *процесса текущих изменений* в описаниях поведения объектов мониторинга (вчера фиксировали – одно, сегодня – другое, завтра – третье ...)?

Здесь, в качестве примера *«работоспособной»* техники анализа данных и поддержки принятия решений, можно привести подход (см., в частности, [Грушо и др., 2018]), в рамках которого описание собственно объекта мониторинга представляет собою *цепочку* описаний его состояний, а каждое из состояний – представляет собою множество значений признаков (при необходимости, с учетом некоторых отношений на отслеживаемых признаках, – например, *со-встречаемости* признаков в ряде состояний, отношений *раньше-позже* и др., а если потребуется, – с учетом, в том числе и числовых меток, характеризующих *«силу» связанности* признаков соответствующими отношениями). На цепочках состояний (на графах определенного вида) может быть определено отношение сходства. Далее (по схеме, уже представленной выше для ИАД на базе уточнения понятия сходства как алгебраической операции) появляется возможность порождать соответствующие классы сходства вместе с формирующими их классами эквивалентности описаний прецедентов. Предлагаемый подход открывает возможности использовать «опыт» ранее уже изученных цепочек состояний (например, описаний компьютерных атак) при анализе (идентификации и прогнозировании свойств) новых цепочек состояний. Так, в задаче противодействия компьютерным атакам представленная процедурная «техника» позволяет идентифицировать подобные ранее уже фиксированным атакам на ранних стадиях их развертывания и формировать оперативное противодействие их деструктивному влиянию.

## Заключение

Завершая обсуждение, обратимся к классическому вопросу: *«что делать?»*, выделив при этом как приоритетные два (представляющихся в значительной мере очевидными) обстоятельства.

- *«Догонять»* или *«двигаться наперерез»* модным тенденциям и подходам? Ну что же, мода приходит и уходит. В свою очередь, стремление к истине, хочется надеяться, вечно. Значит – двигаться наперерез.
- За *«купанием во всеобщем внимании и кредитах доверия»* не стоит забывать о профессионализме исследователя, а также о наличии достаточно емкого класса не только еще не решенных, но и на текущий

момент фактически даже не поставленных соответствующим образом сложных задач, подходы и «инструменты» решения которых, однако, актуальны и востребованы значимыми приложениями уже сегодня.

### Список литературы

- [Бурцев, 2017] Бурцев М.С. Искусственный интеллект: что могут нейронные сети и как они изменят нашу жизнь? Лекция Фонда Егора Гайдара, 2017. – [https://www.kommersant.ru/doc/3495930?from=four\\_tech](https://www.kommersant.ru/doc/3495930?from=four_tech).
- [Грушо и др., 2018] Грушо А.А., Забейайло М.И., Зацаринный А.А., Тимонина Е.Е. О некоторых возможностях управления ресурсами при организации проактивного противодействия компьютерным атакам // Информатика и ее применения, 2018, Т. 12, Вып. 1.
- [Журавлев, 1966] Журавлев Ю.И. Локальные алгоритмы вычисления информации I, II // Кибернетика, 1965, № 1; 1966, № 2.
- [Журавлев, 1977] Журавлев Ю.И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. I-III // Кибернетика, 1977, № 4; 1977, № 6; 1978, № 2.
- [Журавлев, 1978] Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики, 1978, Вып.33.
- [Ливадный, 2018] Ливадный П.В. Об оценке отечественного банковского сектора по соблюдению антиотмывочных стандартов. – Сообщение на Съезде АРБ (3 апр. 2018 г.). – [https://arb.ru/b2b/news/sezd\\_arb\\_otkrylsya\\_v\\_moskve\\_tekstovaya\\_translyatsiya-10191358/?sphrase\\_id=307507](https://arb.ru/b2b/news/sezd_arb_otkrylsya_v_moskve_tekstovaya_translyatsiya-10191358/?sphrase_id=307507).
- [МФТИ-ИИ, 2017] Дополнительные материалы Программы создания и развития центра Нац. технол. иниц. по напр. «ИИ». – М.: МФТИ, 2017.
- [Рудаков, 1987] Рудаков К.В. Полнота и универсальные ограничения в проблеме коррекции эвристических алгоритмов классификации // Кибернетика, 1987, № 3.
- [Рудаков, 1989] Рудаков К.В. Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации // Распознавание, классификация, прогноз. – М.: Наука, 1989.
- [Финн, 2004] Финн В.К. Об интеллектуальном анализе данных // Новости искусственного интеллекта, 2004, № 3.
- [Финн, 2010] Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах ИИ // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010, Ч. I, № 3; Ч. II, № 4.
- [Allen, 2017] Allen G. Project Maven brings AI to the fight against ISIS // Bulletin of the Atomic Scientists. 2017. – <https://thebulletin.org/project-maven-brings-ai-fight-against-isis11374>
- [Barno et al., 2016] Barno D., Bensahel N. The Future of the Army. Today, tomorrow and the day after tomorrow. – Atlantic Council. 2016. – [http://www.realcleardefense.com/articles/2016/09/22/the\\_future\\_of\\_the\\_army\\_110105.html](http://www.realcleardefense.com/articles/2016/09/22/the_future_of_the_army_110105.html).
- [Bogost, 2017] Bogost I. “Artificial Intelligence” has become meaningless // The Atlantic Monthly. 2017. – <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2017/what-is-artificial-intelligence/518547>.

- [**Finn et al., 2017**] Finn V.K., Zabezhailo M.I. Intelligent Data Analysis and Machine Learning: are they really equivalent concepts? // Proc. 2-nd Russia and Pacific Conf. on Computer Technology and Applications. 2017. IEEEExplore (Digital library) – <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8121828>.
- [**Gunning, 2016**] Gunning D. Explainable Artificial Intelligence (XAI) // DARPA/I2O. – [http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/pgasite/documents/webpage/pga\\_184754.pdf](http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/pgasite/documents/webpage/pga_184754.pdf).
- [**Handbook, 2010**] The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning (Holluak K.J., Morrison R.G. – eds.) .Oxford: Oxford Univ. Press, 2010.
- [**IJCAI-XAI, 2017**] IJCAI 2017 Workshop on Explainable Artificial Intelligence (XAI). – <http://home.earthlink.net/~dwaha/research/meetings/ijcai17-xai>.
- [**Jain et al., 2017**] Jain S., Osherson D., Royer J.S., Sharma A. Systems That Learn. An Introd. to Learning Theory (2-nd ed.). MIT Press, Cambridge (MA).1999. – <https://www.amazon.com/Systems-That-Learn-Introduction-Development/dp/0262100770>.
- [**Kubat, 2017**] Kubat M. An Introd. to Machine Learning (2nd ed.n). Springer. 2017. – <https://www.twirpx.com/file/2326751/>, <https://rapidhosting.info/files/9ob>.
- [**Lambrozo, 2017**] Lambrozo T. Explanation and Abductive Inference // The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning Oxford: Oxford Univ. Pr., 2010.
- [**Legg et al., 2007**] Legg S., Hutter M. A Collection of Definitions of Intelligence. – Tech. Rep. – IDSIA-07-07. 2007. – <https://arxiv.org/pdf/0706.3639.pdf>.
- [**Legg et al., 2007a**] Legg S., Hutter M. Universal Intelligence: A Definition of Machine Intelligence // Minds & Machines. 2007. Vol. 17 (4). – <http://www.vetta.org/documents/legg-hutter-2007-universal-intelligence.pdf>.
- [**Palantir, 2014**] NOLA Murder Reduction. Palantir. White paper. – <https://www.documentcloud.org/documents/4344816-NOLA-Murder-Reduction-White-Paper.html>.
- [**Palantir, 2014a**] Crime risk forecasting. US9129219B1 US Grant. – <https://patents.google.com/patent/US9129219?q=inassignee>.
- [**Pellerin, 2017**] Pellerin C. Project Maven to Deploy Computer Algorithms to War Zone by Year’s End // DoD News, Defense Media Activity. U.S. DoD, Washington. 2017. – <https://www.defense.gov/News/Article/Article/1254719/project-maven-to-deploy-computer-algorithms-to-war-zone-by-years-end>.
- [**Schirmer, 2014**] Schirmer S. Deploying Palantir Gotham in New Orleans. – <https://www.documentcloud.org/documents/4344815-Nola-hc3-Final-20140403.html>.
- [**Tan, 2017**] Tan I. Dyson is betting on artificial intelligence as its edge in the IoT future // Mashable. 2017. – <http://mashable.com/2017/02/14/dyson-ai-iot-smart-home/#jzWBPI38gmqn>.
- [**Von Grassegeret al., 2016**] Von Grassegger H., Krogerus M. Ich habe nur gezeigt, dass es die Bombe gibt. // Das Magazin, №48. 2016. – <https://www.dasmagazin.ch/2016/12/03/ich-habe-nur-gezeigt-dass-es-die-bombe-gibt>.

УДК 004.89:303.7

## О ПРИНЦИПАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ<sup>1</sup>

М.А. Михеенкова (*m.mikheyenkova@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва  
Российский государственный  
гуманитарный университет, Москва

В работе рассматриваются принципы интеллектуального анализа данных в предметных областях, характеризующихся слабо формализованными знаниями и открытыми множествами эмпирических данных. Очерчены проблемы точной эпистемологии таких наук. Описаны подходы к решению этих проблем средствами ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, ДСМ-метод, формализованный качественный анализ, интеллектуальный анализ социологических данных

### Введение

Современные социологические исследования наследуют характерные проблемы эпистемологии гуманитарных наук, где отсутствует развитый формальный аппарат, неясно сформулированные идеи преобладают над точными понятиями, а процедуры формирования теорий носят эвристический характер. С одной стороны, существует традиция критического восприятия методологического монизма (единообразия научного метода независимо от различия областей исследования [Вригт, 1986; Поппер, 2000, с. 298–313; Парсонс, 2000]) – вплоть до утверждения о принципиальном несхождении познания в «науках о природе и науках о культуре» [Риккерт, 1998]. С другой – движение в сторону объективизации результатов анализа эмпирических данных требует использования достаточно развитых точных методов.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-00539).



Массовый характер многих социальных явлений и очевидные трудности учёта множества влияющих на них факторов привели к тотальному доминированию количественных и, прежде всего, статистических методов изучения социальной действительности. Методы эти, достаточно эффективные при анализе глобальных и массовых общественных явлений, оказываются малопригодными на микросоциологическом уровне, рассматривающем механизмы, мотивацию, стимулы социального поведения – индивидуального и группового. Такого рода исследования нуждаются в инструментах обнаружения новых знаний и извлечения закономерностей из массивов исходных данных, требующих структурирования, упорядочения и систематизации. Конечным продуктом анализа эмпирических данных должно быть новое знание, что обеспечивается полноценным процессом интеллектуального анализа данных (knowledge discovery). Плодотворными для целей обнаружения нового (относительно имеющихся баз фактов, БФ, и баз знаний, БЗ) знания представляются подходы, предлагающие формализации соответствующих исследовательских эвристик с последующей реализацией в современных компьютерных системах. Такие системы, использующие методы искусственного интеллекта (ИИ), могут служить инструментом автоматизированной поддержки научных исследований в социологии.

## 1. Проблемы точной эпистемологии социальных наук

Гуманитарная парадигма микросоциологии, направленная на изучение действий индивидов (особенно в их социальных отношениях друг к другу), опирается на качественные методы, преобразующие субъективный личностный опыт в типические модели неформальными средствами [Hammersley, 2013; Glaser et al., 2015], что приводит к существенной зависимости от установок, опыта и теоретического базиса исследователя. Некоторым приближением к формализации характерной качественной методологии case-study можно считать довольно распространённый в социологической практике Qualitative Comparative Analysis (QCA) [Rihoux et al., 2009]. Основу метода составляет минимизация булевских функций, описывающих зависимость изучаемого эффекта (явлений, процессов, структур) от наличия или отсутствия некоторых независимых переменных (возможных каузальных условий) и их комбинаций. Разумеется, для изучения сложных социальных явлений формализм такого уровня представляется явно недостаточным [Михеенкова, 2010].

Использование систем компьютерной поддержки качественных исследований CAQDAS (computer aided/assisted qualitative data analysis) [Silver et al., 2014] обеспечивает систематичность, эффективность и надёжность стандартных процедур *обработки* качественных данных, тем самым повы-

шая обоснованность заключений. Это, однако, не решает проблемы формального воспроизведения и компьютерной реализации собственно «восходящей» (индуктивной) стратегии качественного анализа [Fielding, 2014], в отсутствие аппарата уязвимой с точки зрения обоснованности и объективности выводов и даже не всегда имеющей ясно определяемую структуру познавательного процесса. С точки зрения философии ИИ речь идёт о решении проблемы точной эпистемологии [Финн, 2016а]: формализации и автоматизации процесса познания в социальных науках (или – шире – в гуманитарных областях как таковых). Достигается это в рамках решения основной задачи ИИ: конструктивной имитации (возможно, лишь до некоторой степени) и усиления познавательных способностей человека в интеллектуальных системах (ИС) [Финн, 2011, с. 256–277].

В общем случае исследовательские эвристики действующих социологов, направленные на построение теорий на основе выявления зависимостей из анализа имеющихся эмпирических фактов, могут быть представлены универсальным когнитивным циклом «анализ данных – предсказание – объяснение». Формализация этого процесса – интеллектуальный анализ данных (ИАД) – обеспечивает переход от феноменологии к системе знаний в науках со слаборазвитым формальным аппаратом. Эффективное порождение нового знания возможно лишь при соблюдении основного принципа ИАД – адекватности инструментов анализа природе предметной области. Критическая значимость этого принципа для анализа социальных явлений подробно аргументирована в [Sorokin, 1956].

Полноценное воспроизведение познавательной деятельности, использующей правдоподобные рассуждения в открытом мире, требует выразительных формальных средств для синтеза неэлементарных познавательных процедур. Необходимо создание формального языка с дескриптивной функцией для первичной структуризации данных и знаний (с возможностью определения их сходства) и формирования системы отношений и аргументативной функцией для формализации рассуждений – аналитических и прогностических процедур, а также процедур объяснения, фальсификации и возможной верификации полученных результатов [Поппер, 2000, с. 57–74; Финн, 2011, с. 170–231].

## **2. ДСМ-метод – инструментарий социологического исследования**

Научным и конструктивно реализованным аппаратом каузального (не-статистического) анализа данных является ДСМ-метод автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метод АПНИ) [Финн, 2016b], представляющий собой пример систематического подхода к решению проблем точной эпистемологии. Метод располагает развитыми логическими

средствами для формализации эвристики типа «эмпирическая индукция (представленная формальными уточнениями и расширениями индуктивных методов Д.С. Милля [Финн, 2016b]) – структурная аналогия – абдуктивное принятие гипотез». Использование абдуктивного объяснения БФ на основе порождённых зависимостей решает задачу формирования критерия достаточного основания принятия индуктивных гипотез и имеет принципиальное значение для открытых областей с плохо развитым (или отсутствующим) формальным аппаратом.

Источником детерминации при этом является структурное сходство объектов, представленных качественными (неколичественными) характеристиками, – согласно фундаментальному принципу ДСМ-индукции (развивающей идеи Д.С. Милля) «сходство объектов влечёт сходство их свойств и его повторяемость», составляющему также основу качественного анализа социологических данных. Реализация процедур и их комбинаций – стратегий – ДСМ-метода в интеллектуальной системе типа ДСМ для анализа социологических данных JSM Socio [Михеенкова и др., 2013] направлена на построение теории на основе эмпирических фактов, что соотносится с методологическим подходом качественного анализа (использующим неформализованный индуктивный вывод). Это делает JSM Socio инструментом формализованного качественного анализа социологических данных (ФКАСД).

Согласно микросоциологической парадигме, социальное взаимодействие индивидов вынуждается внутренней мотивацией и возможными внешними влияниями, что с необходимостью требует многопараметрического описания. Это обстоятельство – вкуче с дискретным характером качественных переменных и необходимостью формирования отображающей семантику предметной области реляционной системы (которая только и может служить основанием для измерения, т.е. включения количественных характеристик) – учитывается дескриптивной функцией ДСМ-языка, предназначенного для ФКАСД.

Для представления индивидуумов (субъектов поведения) используются индивидуальные переменные  $X, Z, V, \dots$  и константы  $C, C_1, C_2, \dots$  1-го сорта. Эффекты поведения (действия, установки, иногда – целеполагание) описываются индивидуальными переменными 2-го сорта  $Y, U, W, \dots$  и константами  $Q, Q_1, Q_2, \dots$ . Такое представление является базовым в ДСМ-методе АПНИ для изучения каузальности типа «структура объекта – эффект». При включении в структуру анализа контекстных (для социальных систем – внеличностных) параметров вводятся переменные 3-го сорта  $S, S_1, \dots, S_n, \dots$  и константы  $\bar{S}, \bar{S}_1, \dots, \bar{S}_n$ .

Поскольку социальные явления отображают взаимодействие мотивированных, целенаправленно действующих, учитывающих важные для них

факторы индивидуумов, важнейшей составляющей языка ДСМ-метода для ФКАСД является представление мнения  $\varphi$  – личного восприятия индивидуумом различных сторон социальной действительности. Мнение формируется на основе оценки утверждений  $p_1, \dots, p_n$ , характеризующих ситуацию взаимодействия и аргументируют отношение к ней [Finn et al., 2011]. Высказывание  $Jv p_i$  является ответом на вопрос «Какова оценка  $v$  утверждения  $p_i$ ?» ( $i = 1, \dots, n$ );  $Jv p_i = t$ , если  $v[p_i] = v$ , в противном случае  $Jv p_i = f$ ;  $t$  и  $f$  – истинностные значения двузначной логики. Функция оценки  $v[p_i]$  ( $i = 1, \dots, n$ ), принимает значения  $v \in \{1, -1, 0, \tau\}$ ,  $v[p_i] = v$  («фактическая истина», «фактическая ложь», «фактическое противоречие», «неопределенность», соответственно), являющиеся типами истинностных значений бесконечнозначной логики ДСМ-метода и соответствующие семантике четырехзначной логики аргументации [Финн, 2011, с. 312–338]. Мнение  $j$ -го индивида  $\varphi_j = J_{v_1^{(j)}} p_1 \& \dots \& J_{v_n^{(j)}} p_n$ ,  $p_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ),  $v_i^{(j)} \in \{\pm 1, 0, \tau\}$ ,  $j = 1, \dots, 4^n$ .

Таким образом, субъект социального взаимодействия задаётся термом  $\bar{X}$  (полный объект),  $\bar{X} = \langle X, S, [\varphi] \rangle$ , что позволяет варьировать реляционную структуру в зависимости от содержательной социологической модели. Здесь  $[\varphi]$  – множество атомов соответствующей максимальной конъюнкции,  $[\varphi_j] = \{ J_{v_1^{(j)}} p_1, \dots, J_{v_n^{(j)}} p_n \}$ . В базовом варианте ДСМ-метода исходные данные представлены (+)-фактами  $B\Phi^+ = \{ \langle X, Y \rangle \mid J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \}$  («объект  $X$  обладает множеством свойств  $Y$ »), (-)-фактами  $B\Phi^- = \{ \langle X, Y \rangle \mid J_{(-1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \}$  и фактами, описывающими объекты с не заданными свойствами,  $B\Phi^\tau = \{ \langle X, Y \rangle \mid J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \}$ .  $B\Phi = B\Phi^+ \cup B\Phi^- \cup B\Phi^\tau$ .

Минимальными базисными предикатами, представляющими индуктивный метод сходства («а» – agreement), являются предикаты  $M_{a,n}^+(V, W)$  и  $M_{a,n}^-(V, W)$  – для порождения возможных гипотез о причинах (+)- и (-)-фактов, соответственно (параметр  $n$  отображает число применений правил правдоподобного вывода к БФ). Подформулы предикатов представляют инварианты формализации индуктивных методов Д.С. Милля: экзистенциальное условие (существование  $k$  фактов  $X \Rightarrow_1 Y$  соответствующего знака), условие сходства этих фактов, условие эмпирической зависимости ( $V$  – потенциальная причина  $W$ ,  $V$  входит в  $X$ ,  $W$  – в  $Y$ ), условие исчерпываемости (рассмотрение всех сходных фактов), условие нижней границы числа сходных фактов  $k \geq 2$ .

В посылки правил индуктивного вывода – правил правдоподобного вывода 1-го рода, ППВ-1,  $(I_n)^+$ ,  $(I_n)^-$ ,  $(I_n)^0$  и  $(I_n)^\tau$  – входят  $M_{a,n}^+(V, W) \& \neg M_{a,n}^-(V, W)$ ,  $\neg M_{a,n}^+(V, W) \& M_{a,n}^-(V, W)$ ,  $M_{a,n}^+(V, W) \& M_{a,n}^-(V, W)$  и  $\neg M_{a,n}^+(V, W) \& \neg M_{a,n}^-(V, W)$ , соответственно, порождая гипотезы

$J_{(1, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)$ ,  $J_{(-1, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)$ ,  $J_{(0, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)$  и  $J_{(\tau, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)$ . Таким образом, индукция в ДСМ-методе включает условие аргументации, обеспечивающее взаимную фальсифицируемость заключений и конструктивность порождения их истинностных значений.

Предикаты сходства могут быть усилены дополнительными условиями, позволяющими формализовать и другие индуктивные методы Д.С. Милля – метод различия – условие  $(d_0)^\sigma$  ( $\sigma = +, -$ ), объединённый метод сходства-различия  $(d_2)^\sigma$ , метод остатков, а также условие запрета на контрпримеры  $(b)^\sigma$  (см. [Финн, 2016b]). Стратегии ДСМ-метода  $\text{Str}_{x,y}$  представлены множеством правил  $(I)_n^\sigma$  ( $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$ ), образованных возможными комбинациями предикатов  $M_{x,n}^+(V, W)$  и  $M_{y,n}^-(V, W)$  (например,  $M_{x,n}^+(V, W) \& \neg M_{y,n}^-(V, W)$  для  $(I)_n^+$ ).  $M_{x,n}^+$  получен из  $M_{a,n}^+$  добавлением условия  $(x)$  из  $I^+$ , множества имен (индексов) усиления  $M_{a,n}^+(V, W)$ ,  $M_{y,n}^-$  – из  $M_{a,n}^-$  – условия  $(y)$  из  $\Gamma$ , множества имен усиления  $M_{a,n}^-(V, W)$ .

Множества предикатов  $M_{x,n}^+(V, W)$  и  $M_{y,n}^-(V, W)$ , частично упорядоченные на основании отношения логической выводимости, а также включающие их правила правдоподобного вывода, образуют дистрибутивные решётки, а произведения этих решёток – возможные стратегии  $\text{Str}_{x,y}$  ДСМ-рассуждений [Финн, 2016b]. Таким образом, стратегии ДСМ-метода имеют алгебраически определимую структуру, а различие в степенях правдоподобия гипотез, порождаемых в результате применения различных стратегий, задаётся конструктивно.

Использование различных стратегий характеризует механизм каузального вынуждения изучаемых эффектов, что означает реализацию идеи адекватности синтаксиса семантике предметной области. Это находит своё отражение также в распознавании условий тернарного отношения причинности [Финн и др., 2016], что в социальных исследованиях предполагает наличие внутренних сдерживающих факторов – в противоположность рассмотренным выше ситуационным факторам, представляющим внешний контекст поведения. Для социальных явлений часто характерна равносильность разнонаправленных (+)- и (-)-влияний и, соответственно, возникновение конфликтных ситуаций, для чего ДСМ-метод АПНИ располагает адекватными средствами. Приспособляемость метода к классу решаемых задач означает его «экологическую чистоту».

Индуктивное порождение причинных гипотез, их использование для предсказаний заранее не заданных эффектов с помощью вывода по аналогии (правил правдоподобного вывода второго рода, ППВ-2) и абдуктивное принятие порождённых гипотез составляют первый этап формализованной эвристики ДСМ-АПНИ. Характерной особенностью эмпирического социологического исследования является неполнота знаний о мире, имеющихся

в распоряжении исследователя фактов и описывающих их данных. Это обстоятельство учитывается на втором этапе полноценного ДСМ-исследования: порождении универсальных обобщений – эмпирических закономерностей (законов и тенденций) как регулярностей в последовательностях вложенных БФ( $p$ ),  $p = 1, \dots, s$ , с использованием различных ДСМ-стратегий из множества  $\overline{Str} = \{Str_{x,y} \mid x \in I^+, y \in I^-\}$  [Финн, 2016b; Финн, 2018]. Семантически это означает распознавание сохранения отношения «причина – следствие», т.е. наследования типа истинностных значений у индуктивных гипотез о ( $\pm$ )-причинах и гипотез-предсказаний, полученных с использованием причинных гипотез в выводе по аналогии.

Рассмотрим последовательность расширяемых баз фактов  $БФ(1) \subset БФ(2) \subset \dots \subset БФ(s)$ . Пусть  $БФ^\sigma \subseteq БФ^\sigma(p)$ , где  $БФ^\sigma$  – подмножество  $БФ^\sigma(p)$  ( $p = 1, \dots, s$ ) такое, что для каждого ( $\sigma$ )-факта из этого подмножества найдутся объясняющие его ( $\sigma$ )-гипотезы (см. определение аксиомы каузальной полноты АКП<sup>( $\sigma$ )</sup> и её ослабления в [Финн, 2018]). Тогда, если существует  $s$  для назначенного порога абдуктивного принятия

гипотез такое, что  $\rho^\sigma(1) \leq \dots \leq \rho^\sigma(s) \geq \rho^{-\sigma}$ , где  $\rho^\sigma(p) = \frac{|БФ^\sigma(p)|}{|БФ^\sigma(p)|}$ ,

$p = 1, \dots, s$ ,  $\sigma \in \{+, -\}$ , будем говорить, что имеет место абдуктивная сходимость ДСМ-метода. Это позволяет завершить процесс расширений БФ и, соответственно, обнаружения эмпирических закономерностей. В [Финн, 2018] рассмотрена возможная комбинаторика расширений БФ с выделением инвариантов во множестве закономерностей, что существенно повышает надёжность вывода и содержательность порождаемой квазиаксиоматической теории.

Принятие результатов ДСМ-исследования осуществляется на третьем этапе на основе несингулярной оценки качества рассуждений и гипотез [Финн, 2016b; Финн, 2018] с учётом частичного порядка на множестве предикатов и стратегий, обнаружения эмпирических закономерностей, доле верных и неверных предсказаний и степени каузальной полноты. Эмпирические закономерности – законы и тенденции – являются индуктивными операционально определяемыми (нестатистическими) обобщениями результатов формализованной ДСМ-эвристики, а их обнаружение в расширяющихся БФ – динамической аргументацией состоятельности научного исследования, что позволяет усилить попперовский критерий демаркации, отделяющий *завершённое научное исследование* от пред-исследования [Финн, 2016b].

## Заключение

Сложная многопараметрическая структура социальных явлений и разнообразные механизмы социальных взаимодействий требуют эпистемологически адекватного языка представления данных (в частности, их параметризации), формирования различных вариантов исходных отношений, выбора эффективных процедур и стратегий анализа, в том числе, прямых («от причины – к следствию») и обратных («от следствия – к причине»), направленного формирования и пополнения массивов эмпирических фактов. Анализ этих процессов и примеры эмпирических исследований приведены в [Климова и др., 2016; Климова и др., 2017].

Эффективная реализация интеллектуального анализа данных – обнаружения нового знания – осуществима лишь средствами партнёрских человеко-машинных интеллектуальных систем, целью которых является не обработка данных, а поддержка научных исследований. Это является неизбежным следствием принципиальной невоспроизводимости ряда способностей познающего субъекта в автоматическом режиме. Значимость содержательных результатов обеспечивается интерактивным пред-процессингом (в том числе, с учётом открытости эмпирических данных), управлением и контролем использования формализованных эвристик профессиональным исследователем. Исследования подтверждают, что ДСМ-метод и реализующие его интеллектуальные системы являются адекватным инструментом преобразования знаний и *поддержки* научных исследований в слабо формализованных предметных областях, в том числе – в социальных и гуманитарных науках [Finn et al., 2017].

## Список литературы

- [Вригт, 1986] Вригт Г. Х. фон. Объяснение и понимание // Логико-философские исследования. – М.: Прогресс, 1986.
- [Климова и др., 2016] Климова С.Г., Михеенкова М.А., Финн В.К. ДСМ-метод в качественном социологическом исследовании: основные принципы и опыт использования // Социологический журнал, 2016, Т. 22, № 2.
- [Климова и др., 2017] Климова С.Г., Михеенкова М.А. Возможности ДСМ-метода для построения социологических гипотез (на примере анализа политического участия) // Социологический журнал, 2017, Т. 23, № 3.
- [Михеенкова, 2010] Михеенкова М.А. О логических средствах интеллектуального анализа социологических данных // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010, № 1.
- [Михеенкова и др., 2013] Михеенкова М.А., Волкова А.Ю. Спецификация интеллектуальной системы типа ДСМ // НТИ, Сер. 2, 2013, № 7.
- [Парсонс, 2000] Парсонс Т. О структуре социального действия. – М.: Академический проект, 2000.

- [**Поппер, 2000**] Поппер К. Эволюционная эпистемология и логика социальных наук. – М.: Эдиториал УРСС, 2000.
- [**Риккерт, 1998**] Риккерт Г. Науки о природе и науки о культуре. – М.: Республика, 1998.
- [**Финн, 2011**] Финн В.К. Искусственный интеллект: методология, применения, философия. – М.: КРАСАНД, 2011.
- [**Финн, 2016а**] Финн В.К. Искусственный интеллект как научное направление и проблемы точной эпистемологии // 10 лет Научному совету РАН по методологии ИИ. Материалы юбилейного симпозиума. – М.: ИИнтелл, 2016.
- [**Финн, 2016б**] Финн В.К. О классе ДСМ-рассуждений, использующих изоморфизм правил индуктивного вывода // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016, № 3.
- [**Финн и др., 2016**] Финн В.К., Шестерникова О.П. О новом варианте обобщенного ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016, № 1.
- [**Финн, 2018**] Финн В.К. Эвристика обнаружения эмпирических закономерностей и принципы интеллектуального анализа данных // в печати
- [**Fielding, 2014**] Fielding N. G. Qualitative research and our digital futures // Qualitative Inquiry. 2014. Vol. 20 (9).
- [**Finn et al., 2011**] Finn V.K., Mikheyenkova M.A. Plausible Reasoning for the Problems of Cognitive Sociology // Logic and Logical Philosophy. 2011. Vol. 20.
- [**Finn et al., 2017**] Finn V.K., Mikheyenkova M.A. Cognitive Sociology from the Knowledge Discovery Point of View // Proc. of the 2nd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. 2017.
- [**Glaser et al., 2015**] Glaser B., Strauss A. Basics of qualitative research. Techniques and procedures for developing grounded theory, 4th ed. – Thousand Oaks: SAGE Publication, 2015.
- [**Hammersley, 2013**] Hammersley M. What is qualitative research? – London: Bloomsbury Academic, 2013.
- [**Rihoux et al., 2009**] Rihoux B., and Ragin C.C., Eds. Configurational Comparative Methods. Qualitative Comparative Analysis (QCA) and related techniques (Applied Social Research Methods). – Thousand Oaks and London: SAGE Publication. 2009.
- [**Silver et al., 2014**] Silver C., and Lewins A. Using Software in Qualitative Research: A Step by Step Guide (2<sup>nd</sup> ed.). – London: SAGE Publication. 2014.
- [**Sorokin, 1956**] Sorokin P. Fads and Foibles in Modern Sociology and Related Sciences. – Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers. 1956.



УДК 004.89:004.912

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ OPINION MINING СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА<sup>1</sup>

В.С. Мошкин (*postforvadim@ya.ru*)

Н.Г. Ярушкина (*jng@ulstu.ru*)

А.М. Наместников (*am.namestnikov@gmail.com*)

А.А. Филиппов (*al.filippov@ulstu.ru*)

Г.Ю. Гуськов (*guskovgleb@gmail.com*)

А.А. Романов (*romanov73@gmail.com*)

Ульяновский государственный технический  
университет, Ульяновск

В статье представлен разработанный интеллектуальный программный инструмент для семантического анализа социальных сетей. Также в статье представлены новые алгоритмы гибридизации онтологического анализа с методами обработки естественного языка для извлечения семантической и сентимент составляющей слабоструктурированных и неструктурированных текстовых ресурсов. Эти подходы улучшают эффективность анализа социальных медиа, для которых характерны специфичный контент и нечеткость естественного языка.

**Ключевые слова:** онтология, графическая база знаний, opinion mining, семантический анализ, социальные медиа, неструктурированные ресурсы

### Введение

Активный рост аудитории социальных медиа в сети Интернет таких, как социальные сети, форумы, блоги и интернет-СМИ, привел к становлению этих ресурсов в качестве нового источника данных и знаний. Работа с такими данными характеризуется рядом особенностей.

К преимуществам относятся:

- скорость доступа к информации;

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России в рамках проекта №2.4760.2017 / 8.9, а также РФФИ (проекты №№16-47-732054, 18-47-730035).

- охват аудитории;
- спектр тематик, по которым генерируются данные;
- объем данных.

К недостаткам относятся:

- объем данных;
- неструктурированное представление информации;
- отсутствие единого понятийного аппарата.

Объем данных социальных медиа отнесен к преимуществам и недостаткам одновременно, так как, согласно статистике на 2017 год, ежемесячно в русскоязычных социальных сетях около 30 миллионов уникальных авторов публикуют почти 580 миллиардов сообщений. Однако подобный объем данных позволяет получить обширную обучающую выборку для методов машинного обучения, обширную статистическую выборку для социальных исследований.

Миллиарды неструктурированных текстовых сообщений и публикаций, оставляемых пользователями ежемесячно, невозможно обработать вручную.

Этот факт выдвигает на первый план потребность в методах автоматизированного интеллектуального и сентимент-анализа текстовой информации, позволяющих за короткое время обработать большие объемы данных и понять смысл (Text Mining) и эмоциональную окраску (Opinion Mining) пользовательских сообщений и публикаций [Leskovec, 2006; Gjoka, 2011; Boyd, 2007; Pallis, 2011; Gartner].

Именно понимание смысла и эмоциональной окраски сообщений и публикаций социальных медиа является наиболее важным и сложным элементом автоматизированной обработки [Коршунов, 2013а; Коршунов, 2013b; Fleuret, 2004; Crammer, 2006; Pang, 2002; Turney, 2002].

Разрабатываемый в рамках нашей научной группы, интеллектуальный инструментарий для Opinion Mining социальных медиа предполагает создание новых подходов к гибридизации онтологического анализа и методов инженерии знаний с методами анализа текстов на естественном языке в задачах извлечения семантической и эмоциональной составляющей слабоструктурированных и неструктурированных ресурсов. Данные подходы позволят повысить эффективность анализа содержимого социальных медиа с учетом специфики представления данных и нечеткости конструкций естественного языка [Chetviorkin, 2013; Антонова, 2013; Пазельская, 2011; García-Moya, 2013; Тарасов, 2015].

## 1. Архитектура программной системы для Opinion Mining социальных медиа

В основу архитектуры программной системы для Opinion Mining социальных медиа (ПС) был положен сервис-ориентированный подход позволяющий:

- повысить общую отказоустойчивость ПС за счет выполнения сервисов в разных адресных пространствах;
- повысить масштабируемость ПС за счет запуска нескольких экземпляров сервисов и балансировки нагрузки между ними;
- предоставить возможность использования различных операционных систем, языков программирования, технологий хранения данных;
- уменьшить время простоя ПС при внесении изменений, исправлении ошибок;
- предоставить возможность полной замены сервисов при условии сохранения интерфейса взаимодействия с остальными частями ПС.

В качестве основного подхода к организации интерфейса взаимодействия сервисов ПС используется архитектурный стиль REST совместно с протоколом HTTP [REST]. Архитектурный стиль REST позволяет распределенной системе любого типа иметь такие свойства как: производительность, расширяемость, простота, обновляемость, понятность, портативность и надежность. На рис. 1 представлена архитектурная схема ПС, состоящая из следующих подсистем.

*Подсистема импорта данных из социальных медиа* рассчитана на работу с популярными интернет-сервисами: Вконтакте, Facebook, Одноклассники, Twitter, Instagram, Youtube через публичные программные интерфейсы (Public API). Загрузчик данных из Интернет-СМИ извлекает данные из HTML-страниц на основе правил. Для каждого Интернет-СМИ необходимо создавать собственное правило, состоящее из набора CSS-селекторов. Загрузчик онтологий позволяет загрузить в подсистему хранения данных описание особенностей проблемной области (ПрО) в форме онтологий на языке RDF или OWL.

*Подсистема хранения данных* обеспечивает представление информации, извлеченной из социальных медиа, в унифицированной структуре, удобной для дальнейшей обработки. Данные хранятся в разрезе пользователей, коллекций, источников данных, версий.

В качестве систем управления базами данных (СУБД) используются:

- Elasticsearch для индексации и поиска данных [Elastic Stack];
- MongoDB для хранения данных в формате JSON [MongoDB];
- Neo4j для хранения графов социального взаимодействия и онтологий [Neo4j].

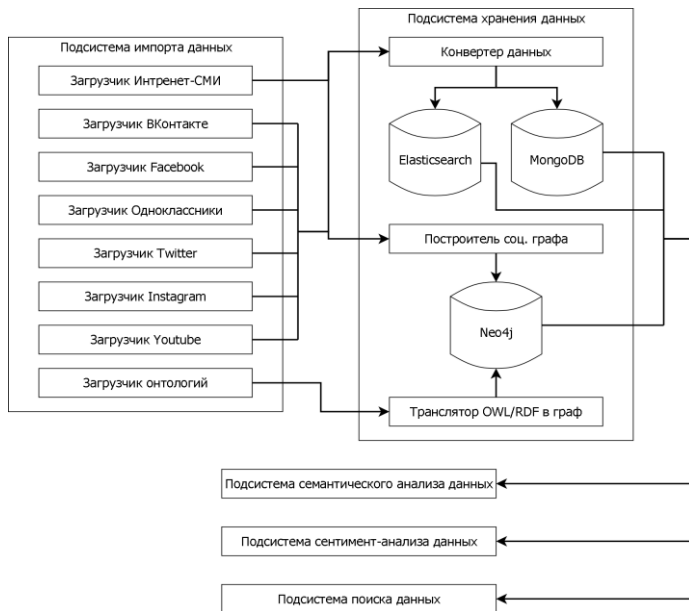


Рис. 1. Архитектурная схема ПС для Opinion Mining социальных медиа

Конвертер данных обеспечивает преобразование импортированных из социальных медиа данных во внутреннее представление ПС. Построитель социального графа формирует граф социального взаимодействия на основе данных об отношениях пользователей и сообществ социальных медиа. Транслятор OWL/RDF-онтологии в граф позволяет транслировать онтологию в графовую базу знаний [Yarushkina, 2017].

*Подсистема семантического анализа данных* обеспечивает выполнение предобработки текстовых ресурсов, проведение статистического и лингвистического анализа текстовых ресурсов.

*Подсистема сентимент-анализа данных* обеспечивает выявление в текстах эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки авторов (мнений) по отношению к объектам, речь о которых идёт в тексте.

*Подсистема поиска данных* обеспечивает возможность поиска объектов, имеющих отношение к возникшей ситуативной задаче, формируемой в виде множества ключевых слов. Существует возможность семантического расширения запроса пользователя на основе описания особенностей Про, представленного в загруженной ранее онтологии.

## 2. Модель данных программной системы для Opinion Mining социальных медиа

Для подсистемы хранения данных ПС нужно обеспечить хранение:

- данных, извлеченных из социальных медиа;
- описания ПрО в форме графовой базы знаний;
- социального графа, отражающего связи пользователей и сообществ социальных медиа.

Для хранения описания ПрО в форме графовой базы знаний и социального графа используется графовая СУБД Neo4j. К основным преимуществам Neo4j можно отнести:

- естественный (native) формат хранения графов;
- один экземпляр СУБД может обслуживать графы с миллиардами узлов и связей;
- может обрабатывать графы, которые полностью не помещаются в оперативную память;
- графо-ориентированный язык запросов – Cypher.

Для организации поиска данных используется поисковый движок Elasticsearch. К основным преимуществам Elasticsearch можно отнести:

- может обрабатывать петабайт структурированных и неструктурированных данных;
- денормализация для увеличения эффективности поиска;
- одна из популярных поисковых систем, которая в настоящее время используется многими крупными организациями, такими как Wikipedia, The Guardian, StackOverflow, GitHub.

Для хранения данных, извлеченных из социальных медиа, используется документно-ориентированная СУБД MongoDB, характеризующаяся:

- высокой производительностью;
- документно-ориентированный языком запросов;
- отказоустойчивостью;
- масштабированием.

Для унификации данных, загруженных из различных социальных медиа, необходимо выделить основные сущности модели данных ПС.

Сущность MassMedia – коллекция, элементы которой соответствуют определенным социальным медиа, загрузку которых поддерживает подсистема импорта данных ПС: ВКонтакте, Facebook, Twitter.

Сущность Person – коллекция, элементы которой содержат список пользователей, извлеченных из социальных медиа. Сущность Person имеет набор атрибутов, соответствующий атрибутам, часто используемым в социальных сетях: фамилия, имя, отчество, дата рождения, увлечения, сведения об образовании.

Сущность Group – коллекция, элементы которой содержат информацию о сообществах, извлеченных из социальных медиа. Сущность Group имеет набор атрибутов, соответствующий атрибутам, часто используемым в социальных сетях: название группы, описание группы, возрастные ограничения, дата создания.

Сущность Post – коллекция, элементы которой содержат информацию о записях в социальных медиа. Сущность Post имеет следующий набор атрибутов: автор, заголовок, содержимое, дата создания, вложения.

Сущность Comment – коллекция, элементы которой содержат информацию о комментариях в социальных медиа. Сущность Comment имеет следующий набор атрибутов: автор, заголовок, содержимое, дата создания, вложения.

Сущность Attachment – коллекция, элементы которой содержат информацию о вложениях записей и комментариев в социальных медиа. Сущность Attachment имеет несколько типов и позволяет хранить следующие виды вложений: фотографии, фотоальбомы, аудиозаписи, видеозаписи, гиперссылки, документы (файлы), опросы.

В табл. 1 представлено соответствие сущностей социальных медиа, загрузку которых поддерживает подсистема импорта данных ПС, и сущностей ПС.

Табл. 1.

ПС	ВКонтакте Facebook Одноклассники	Twitter	Instagram	Youtube	Интернет-СМИ
Mass Media	URL, например, vk.com	URL	URL	URL	URL
Person	Пользователь	Пользователь	Пользователь	Пользователь	–
Group	Сообщество	-	-	-	–
Post	Запись	Твит	Фотография	Видео	Новость, статья
Comment	Комментарий	Комментарий	Комментарий	Комментарий	Комментарий
Attachment	Вложения	Вложения	Тэги, ссылки	Ссылки	Вложения

Как видно из табл. 1, выделенные ранее основные сущности модели данных ПС позволяют хранить данные, загруженные из большинства существующих социальных медиа. Унифицированное представление данных в ПС позволяет эффективно производить процесс их обработки, анализа и поиска. Для трансформации данных, загруженных из социальных медиа, во внутреннее представление ПС используется конвертер данных. Для каждого нового Интернет-ресурса необходима разработка своего модуля в рамках конвертера данных. Загрузчик Интернет-СМИ формирует одинаковое представление данных для всех сайтов, следовательно, нет необходимости адаптировать конвертер для каждого сайта в отдельности.

## Заключение

Разрабатываемый в рамках нашей научной группы, интеллектуальный инструментарий для Opinion Mining социальных медиа позволят загружать данные из социальной сети ВКонтакте и Интернет-СМИ.

В процессе загрузки данных из социальной сети ВКонтакте формируется граф социального взаимодействия, учитывающий следующие виды отношений: является другом, является подписчиком, является родственником, состоит в отношениях, состоит в сообществе. Также при загрузке данных средствами поискового движка Elasticsearch формируется статистический индекс текстовых данных, а сами данные конвертируются в сущности модели данных ПС и сохраняются в MongoDB.

С помощью подсистемы поиска данных организуется поиска данных по ключевым словам в разрезе источников данных и видов сущностей: пользователи, сообщества, записи, комментарии и вложения. В процессе поиска исходный поисковый запрос пользователя может быть расширен на основе сведений, содержащихся в графовой базе знаний. Содержимое графовой базы знаний формируется в процессе трансляции онтологии в формате OWL в узлы и отношения графовой базы знаний.

В качестве развития ПС планируется:

- разработка загрузчиков для социальных сетей Twitter, Facebook, Instagram, Youtube, Одноклассники;
- тестирование работы подсистемы хранения данных на больших объемах данных;
- разработка подсистемы сентимент-анализа данных;
- разработка подсистемы семантического данных;
- доработка пользовательского интерфейса.

Разрабатываемая ПС должна повысить эффективность анализа содержимого социальных медиа с учетом специфики представления данных и четкости конструкций естественного языка.

## Список литературы

- [Антонова, 2013] Антонова А., Соловьев А. Использование метода условных случайных полей для обработки текстов на русском языке // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: «Диалог-2013». Сб. научных статей. Вып. 12 (19). – М.: Изд-во РГГУ, 2013.
- [Коршунов, 2013а] Коршунов А. Задачи и методы определения атрибутов пользователей социальных сетей // Труды 15 Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2013.
- [Коршунов, 2013б] Коршунов А., Белобородов И., Гомзин А., Чуприна К., Астраханцев Н., Недумов Я., Турдаков Д. Определение демографических атрибутов

- пользователей микроблогов // Труды Института системного программирования РАН, 2013, Т. 25.
- [Пазельская, 2011] Пазельская А., Соловьев А. Метод определения эмоций в текстах на русском языке. Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: «Диалог-2011». Сб. научных статей – М.: Изд-во РГГУ, 2011, Вып. 11 (18).
- [Тарасов, 2015] Тарасов Д. Глубокие рекуррентные нейронные сети для аспектно-ориентированного анализа тональности отзывов пользователей на различных языках // По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 14 (21): В 2 т. Т. 2: Доклады специальных секций. – М.: Изд-во РГГУ, 2015.
- [Boyd, 2007] Boyd D., Ellison N. Social network sites: Definition, history, and scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*. 2007. Vol. 13(1). Article 11.
- [Chetviorkin, 2013] Chetviorkin I., Loukachevitch N. Sentiment Analysis Track at ROMIP-2012. *Computer linguistics and intellectual technologies. Computer linguistics and intellectual technologies: Dialogue-2013. Sat. scientific articles*. 2013. Vol. 2.
- [Crammer, 2006] Crammer K., Dekel O., Keshet J., Shalev-Shwartz S., Singer Y. Online Passive-Aggressive Algorithms // *JMLR*. 2006.
- [Elastic Stack] The Heart of the Elastic Stack. – <https://www.elastic.co/products/elasticsearch>.
- [Fleuret, 2004] Fleuret F. Fast Binary Feature Selection with Conditional Mutual Information // *JMLR*. 2004. 5.
- [García-Moya, 2013] García-Moya L., Anaya-Sanchez H., Berlanga-Llavori R. Retrieving product features and opinions from customer reviews // *IEEE Intelligent Systems*. 2013. 28(3).
- [Gartner] Key Trends to Watch in Gartner 2012 Emerging Technologies Hype Cycle. – <http://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2012/09/18/key-trends-to-watch-in-gartner2012-emerging-technologies-hype-cycle-2>.
- [Gjoka, 2011] Gjoka M. et al. Practical recommendations on crawling online social networks // *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*. 2011. Vol. 29. No. 9.
- [Leskovec, 2006] Leskovec J., Faloutsos C. Sampling from large graphs // *Proc. of the 12th ACM SIGKDD Int. conf. on Knowledge discovery and data mining*. ACM. 2006.
- [MongoDB] MongoDB. For Giant ideas. – <https://www.mongodb.com>.
- [Neo4j] Introducing the Neo4j Graph Platform. – <https://neo4j.com>.
- [Pallis, 2011] Pallis G., Zeinalipour-Yazti D., Dikaiakos M. Online Social Networks: Status and Trends. *New Directions in Web Data Management 1, Studies in Computational Intelligence*. 2011. Vol. 331.
- [Pang, 2002] Pang B., Lee L., Vaithyanathan S. Thumbs up? Sentiment Classification using Machine Learning Techniques. 2002.
- [REST] Representational state transfer. – [https://en.wikipedia.org/wiki/Representational\\_state\\_transfer](https://en.wikipedia.org/wiki/Representational_state_transfer).
- [Turney, 2002] Turney P. Thumbs Up or Thumbs Down? Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews // *Proceedings of the Association for Computational Linguistics*. 2002. – arXiv: LG/0212032.
- [Yarushkina, 2017] Yarushkina N., Filippov A., Moshkin V. Development of the unified technological platform for constructing the domain knowledge base through the context analysis // *Communications in Computer and Information Science*. 2017. Vol. 754.



## ПРИМЕНЕНИЕ ДСМ-МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССТРОЙСТВ ШИЗОФРЕНИЧЕСКОГО СПЕКТРА<sup>1</sup>

Е.Ф. Фабрикантова (*el.fabrikantova@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и Управление» РАН, Москва

Для диагностики шизофрении во всем мире используется клиническая рейтинговая шкала PANSS. Она предназначена для количественной и структурной оценки позитивных и негативных синдромов шизофрении и диагностики шизофрении на ее основе. Однако эта шкала была разработана в начале 80-х годов, когда широко не использовались методы интеллектуального анализа данных. Предлагается использование симптомов из шкалы PANSS в качестве языка описания данных для интеллектуального анализа с помощью ДСМ-метода не только для диагностики, но и для исследования шизофрении, например, с целью получения новых и уточнения известных синдромов, определяющих ее типы. Описываются постановки некоторых исследований, результаты которых могут служить основой для эмпирических теорий в психопатологии, а также помогут психиатрам ставить персонифицированные диагнозы. В качестве одного из исследований предлагается установление эмпирических закономерностей, связывающих симптомы шизофрении с нарушениями рационального интеллекта. Цель работы – продемонстрировать для психопатологов и психиатров возможность применения ДСМ-метода и интеллектуального анализа данных на его основе для исследований в психопатологии.

**Ключевые слова:** ДСМ-метод, интеллектуальный анализ данных, эмпирическая закономерность, представление знаний, расстройства шизофренического спектра, шкала PANSS, рациональный интеллект

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 17-07-00539, 16-07-00997).

## **Введение**

Психопатология и психиатрия относятся к таким предметным областям, для которых не в достаточной степени развит формальный аппарат обработки экспериментальных данных, а интуиция и опыт врачей и исследователей – основные инструменты исследований данных о пациентах и диагностики их состояния. Благодаря опыту и интуиции исследователей и врачей созданы и развиваются МКБ-10 [Классы МКБ-10], различные шкалы, например, шкала PANSS [PANSS]. Именно они используются в настоящее время для классификации и диагностики психических расстройств и расстройств личности и содержат знания о заболеваниях – симптомы, симптомокомплексы и синдромы.

Однако переход современной медицины к более тонкой постановке диагноза с учетом индивидуальных особенностей личности, присоединение к клиническому субъективному данным результатов МРТ, других субъективных и объективных данных из клинической психологии, нейропсихологии, нейробиологии, нейрофизиологии, генетики требует такого объема информации о пациенте, который исследователь и врач не в состоянии охватить.

В настоящее время развитие информационных технологий позволяет обеспечить широкое внедрение методов интеллектуального анализа данных Data Mining и обнаружения знаний Knowledge Discovery в теории и практике диагностики психических расстройств и расстройств личности.

В работе рассматривается возможность применения ДСМ-метода и интеллектуального анализа данных на его основе для исследований в области психопатологии.

### **1. Шкала PANSS и интеллектуальный анализ данных**

#### **1.1. Шкала PANSS и методика ее использования**

Для постановки диагноза расстройств шизофренического спектра повсеместно используется шкала PANSS.

1. Позитивный синдром. Это те характеристики, которые появляются у больного по сравнению со здоровым человеком.

Бред, дезорганизация процесса мышления, галлюцинации, возбуждение, идеи величия, подозрительность, идеи преследования, враждебность.

2. Негативный синдром. Это те характеристики, которые утрачиваются у больного по сравнению со здоровым человеком.

Притупленный аффект, эмоциональная отгороженность, трудности в общении (малоконтактность, некоммуникабельность), пассивно-апатическая отгороженность, нарушение абстрактного мышления, нарушение спонтанности и плавности речи, стереотипное мышление.

Каждый из симптомов имеет значение от 0 до 6. Они отражают тяжесть симптома.

Значения симптомов складываются отдельно для позитивного и негативного синдромов. Диагноз (позитивный или негативный синдром) ставится по большему значению из полученных сумм. Такая классификация (на позитивный и негативный синдромы) важна для назначения лечения.

### **1.2. ДСМ-метод**

ДСМ-метод, интеллектуальные системы и их применение описаны во многих статьях и книгах, например, в [Милль и др., 2009].

Опишем базовую постановку исследований для ДСМ-метода.

Объекты описываются признаками шкалы PANSS.

Эффект: шизофрения.

Положительные примеры: шизофрения есть, отрицательные примеры: нет. Отрицательными примерами могут быть здоровые люди, больные с bipolarным расстройством, больные эпилепсией.

## **2. Расширение языка описания данных**

В описание объекта могут быть добавлены признаки: возраст, образование, социальное положение, семейное положение, были ли в последнее время стрессы. Можно в описание объекта добавить признаки, полученные из результата МРТ с помощью программы FreeSurfer [FreeSurfer, 2012], сведения о генетике.

## **3. Установление эмпирических закономерностей, связывающих шизофрению с нарушениями рационального интеллекта**

Рациональный интеллект называется еще: теоретический, познавательный, научный, аналитический.

*Постановка 1.* Есть ли нарушения рационального интеллекта у человека.

Объекты описываются признаками шизофрении из шкалы PANSS.

Эффект: есть ли нарушения рационального интеллекта.

Положительные примеры: да.

Отрицательные примеры: нет.

*Постановка 2.* Какие признаки рационального интеллекта сохранены или нарушены при каких признаках шизофрении.

Объекты описываются признаками шизофрении.

Эффект: признаки, описывающие рациональный интеллект.

Признаки, описывающие рациональный интеллект, – это признаки, предложенные в [Финн, 2009]:

- выделение существенного в данных;
- целеполагание: цель – план – действие;

- отбор знаний (посылок для выводов, релевантных цели рассуждения);
- извлечение следствий посредством рассуждений, содержащих амплиативные выводы;
- аргументация при принятии решений (аргументы «за» и «против»);
- рефлексия: оценка знаний и действий;
- способность к объяснению (ответ на вопрос «почему?»);
- синтез познавательных процедур, образующих эвристику обнаружения нового знания (например, индукция + аналогия + абдукция);
- обучение и использование памяти;
- рационализация неясных идей – преобразование их в точно характеризующие понятия;
- создание целостной картины об исследуемой проблеме (P1);
- адаптация системы знаний при условии изменения имеющихся знаний (коррекция «теорий»).

Возможные исследования: шизофрении нет, но некоторые способности интеллекта (какие?) нарушены; шизофрения есть, но некоторые способности интеллекта (какие?) сохранены.

*Постановка 3.* Какие признаки шизофрении с какими нарушениями интеллекта связаны.

Объекты описываются признаками интеллекта.

Эффект описывается признаками шизофрении.

Заметим, что в гуманитарных предметных областях приходится говорить не о причинно-следственных зависимостях, а о связях, взаимных влияниях, образовании системы, т.е. причинно-следственные зависимости понимаются в них метафорически [Климова С.Г. и др., 2009; Фабрикантова, 2012]. Именно поэтому возможно менять местами описание объекта и эффекта.

#### **4. Примеры возможных исследований**

Многие из приведенных ниже гипотез и задач взяты из [Жариков и др., 2014; Тиганов, 2016a].

Получение закономерностей для позитивного и негативного синдромов из шкалы PANSS.

Получение закономерностей для расстройств шизофренического спектра: типологизация шизофрении.

Расстройства шизофренического спектра:

- шизоаффективное расстройство;
- шизофрениформное расстройство;
- бредовое расстройство;

- шизоидное расстройство личности;
- шизотипическое расстройство.

Дифференциация психических расстройств и расстройств личности [Смулевич, 2012], что может позволить лечение без лекарств, с помощью социологизации [Объедков и др., 2007].

Когнитивные нарушения при психических расстройствах и расстройствах личности: сходства и различия.

Когнитивные нарушения при шизофрении.

Выявление эмпирической психической нормы.

Обнаружение связей между психическими и соматическими заболеваниями (см. пример в [Романов и др., 2015].

Мозговой механизм дефекта семантической памяти при шизофрении – дисфункция височно-теменных регионов коры головного мозга.

Нарушения внимания, предопределяющие патологию ассоциативного мышления, обусловлены нарушением лобно-височных отделов.

Низкая корреляция между способностью решать обыденные проблемы и психопатологической симптоматикой заболевания.

Существование сильной ассоциации между познавательной дисфункцией и отдельными социальными проблемами при шизофрении.

Болезнь и творчество.

Обыденный интеллект (здравый смысл, рассудок, common sense) и психические расстройства.

Художественное творчество и психические расстройства [Тиганов, 2016b].

Выявление эмпирической интеллектуальной нормы.

Существование сильной ассоциации между познавательной дисфункцией и отдельными социальными проблемами при шизофрении.

## Заключение

В работе сделана попытка постановки некоторых задач из психопатологии и психиатрии для решения с помощью ДСМ-метода.

**Благодарности.** Автор благодарит В.К. Финна, Д.В. Романова и М.А. Михеенкову за помощь и поддержку.

## Список литературы

[Жариков и др., 2014] Жариков Н.М., Хритинин Д.Ф., Лебедев М.А. Справочник по психиатрии. – М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2014.

[Классы МКБ-10] Классы МКБ-10 // F00 – F99 Психические расстройства и расстройства поведения. – mkb-10.com.

- [Климова С.Г. и др., 2009] Климова С.Г., Михеенкова М.А., Панкратов Д.В. ДСМ-метод как метод выявления детерминант поведения // Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009.
- [Милль и др., 2009] Милль Д.С., Пирс Ч.С., Поппер К.Р. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009.
- [Объедков и др., 2007] Объедков В.Г., Гелда А.П. Когнитивные нарушения при шизофрении: терапевтические стратегии // Медицинская панорама, 2007, № 8.
- [Романов и др., 2015] Романов Д.В., Финн В.К., Фабрикантова Е.Ф., Андрущенко А.В., Львов А.Н., Бобко С.И. Интеллектуальная система типа ДСМ для автоматизированной поддержки исследования когностезиопатических расстройств (зуда) в дерматологической практике: методология и некоторые результаты // Психические расстройства в общей медицине, 2015, № 4.
- [Смулевич, 2012] Смулевич А.Б. Расстройства личности. Траектория в пространстве психической и соматической патологии. – М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2012.
- [Тиганов, 2016a] Тиганов А.С. Общая психопатология: Курс лекций. – М: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2016.
- [Тиганов, 2016b] Тиганов А.С. Творчество и психическое здоровье. Размышления клинициста. – М: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2016.
- [Фабрикантова, 2012] Фабрикантова Е.Ф. Моделирование систем средствами искусственного интеллекта // НТИ. Сер. 2, 2012, № 12.
- [Финн, 2009] Финн В.К. К структурной когнитологии: феноменология сознания с точки зрения искусственного интеллекта // Вопросы философии, 2009, № 1.
- [FreeSurfer, 2012] FreeSurfer. – <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>.
- [PANSS] PANSS и другие психометрические шкалы. – ncrz.ru.

## ПОЧЕМУ Я НЕ *DEEP LEARNER*

В.К. Финн (*v.k.finn@yandex.ru*)  
М.А. Михеенкова (*m.mikheyenkova@yandex.ru*)  
М.И. Забежайло (*m.zabezhailo@yandex.ru*)  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

Рассматриваются возможности систем искусственного интеллекта (ИИ), ориентированных на анализ Big Data. Представлен обзор ряда критичных для использования в приложениях функциональных характеристик систем ИИ, на базе которых проводится сравнение возможностей систем глубокого машинного обучения (deep learning) и базирующихся на формальных уточнениях понятия сходства систем интеллектуального анализа данных.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеллектуальный анализ данных, глубокое машинное обучение

### Введение

На сегодняшний день позиционирование решений и средств Искусственного Интеллекта (ИИ) обозначено достаточно четко: важнейшая область востребованности ИИ-систем – анализ Big Data в условиях ограничений на время принятия решений. Примеры таких приложений (где критически важный фактор – процессно-реальное время анализа данных и принятия решений) легко найти в широком спектре областей от обороны и безопасности до высокотехнологичной медицины, в бизнес-приложениях (например, в области финансовых технологий), в сфере информационно-телекоммуникационных технологий (см., например, [IJCAI-XAI, 2017; Varno et al., 2016]).

При уточнении границ ИИ как области исследований и разработок представляется естественным в центр соответствующей «системы координат» поместить (см., например, [Финн, 2011]) феноменологию естественного интеллекта (ЕИ) и возможности (а также успешные прецеденты) воспроизведения ее фрагментов средствами компьютерных систем. Собственно, таким воспроизведением и характеризуется основная задача ИИ.

## 1. Два подхода к анализу Big Data средствами ИИ

На практике сложились два подхода к организации процесса анализа Big Data средствами ИИ. Первый, по-видимому, лучше всего характеризует чрезвычайно популярное сегодня применение ИИ-систем и решений в маркетинге и управлении массовыми продажами в розничной торговле (retail'e), когда данных (о потенциальных покупателях – их запросах и предпочтениях) не просто много, невообразимо много, и хочется конвертировать эти «богатства» в ликвидные активы. Процедурная схема конвертации выглядит следующим образом: имея некоторые представления о том, что кто-либо уже купил что-то, попробуем определить, кому еще можно предложить каждое такое же конкретное что-то. Для этого проведем анализ данных, затем сформируем коммерческие предложения; далее, если куплено, – замечательно! При этом вопрос: «А правильно ли определили потребности «целевой аудитории»?» воспринимается (по крайней мере, бизнес-заказчиком), вообще говоря, как неуместный. Ведь уже купили, причем сделали это очень многие! Итак: данных очень много; с ними необходимо что-то делать; значит – сгруппируем-посчитаем. Что-то получилось, – замечательно. Да здравствует ИИ!

Основная отличительная особенность второго подхода – обеспечить достаточные основания для доверия результатам выполненного анализа данных и сформированных рекомендаций для принятия решений (например, объясняемость в содержательных терминах, неоспоримые аргументы в пользу принятия полученных в процессе компьютерного ИИ-анализа выводов и рекомендаций).

Одним из наиболее популярных сегодня направлений ИИ-исследований и разработок машинное обучение (ML). Достигнутые здесь результаты бесспорны. Однако, весьма распространенная в настоящее время «фигура речи», когда с ML «по умолчанию» ассоциируется все, что имеет отношение к ИИ, может быть легко оспорена. Действительно, обращаясь к упомянутой ранее феноменологии ЕИ (перечню когнитивных способностей ЕИ) несложно убедиться, что часть «интеллектуальных» функций ЕИ не покрывается средствами ML. Пример такого «непокрытого» фрагмента дают способности ЕИ проводить рассуждения, обеспечивая синтез различных познавательных процедур. В сложившейся ситуации естественно задаться вопросом: «Чем обеспечить соответствующее «покрытие»? Ответ очевиден: необходимо обеспечить компьютерную реализацию рассуждений в системах ИИ (программно-технических системах, используемых в решении ИИ-проблем) и интеллектуальных системах (системах, в явном виде содержащих в своей архитектуре блок поддержки рассуждений [Финн, 2010; Финн, 2011; Finn et al., 2017]).



Не оспаривая приемлемость первого (см. выше) подхода в соответствующих областях приложений, рассмотрим более подробно особенности второго (ориентируясь, в свою очередь, на области его востребованности приложениями). Здесь представляется необходимым в приоритетном порядке учесть эффекты человеко-машинного взаимодействия, в рамках которого ИИ-система как партнер-усилитель когнитивных возможностей человека в процессе анализа Big Data.

## 2. Некоторые существенные процедурные особенности рассматриваемых подходов

Выделим два конкретных аспекта такого взаимодействия: *объясняемость* результатов компьютерного анализа данных ИИ-системой в понятных человеку категориях и аргументах (NB: ответственность за конечные решения лежит на человеке), а также – *интегрируемость* процедурных техник анализа данных, используемых человеком и интеллектуальной компьютерной системой (ведь она – «усилитель» его когнитивных возможностей).

Далее отметим специфику анализа Big Data, которая требует аккуратного учета в процессе использования ИИ-систем и средств эффекты *Big* и *Open*. Области актуальности каждого из названных эффектов – поиск релевантных данных в больших коллекциях (*Big*) и порождение зависимостей, скрытых в (пополняемых!) коллекциях эмпирических данных в открытых предметных областях (*Open*). При этом, полезно учитывать, что особенности класса *Big* отражают две ситуации.

- Когда искомый ответ – «небольшое» множество объектов. (Пример: разрабатываемые школой академика К.В.Рудакова так называемые субквадратичные алгоритмы для поиска метрических сгущений в разреженных матрицах [Вальков, 2005]. Подобная техника анализа данных эффективно применима, в частности, при обработке фискальных данных, анализе закупок).
- Когда искомый ответ – «большое» множество объектов. В данном случае эффективно реализуем лишь анализ «в среднем».

В свою очередь, для класса *Open* актуальной оказывается проблема устойчивости зависимостей, порождаемых из эмпирических данных в ситуации пополнения соответствующих обучающих выборок новыми фактами. Здесь критически важную роль играют эффекты, связанные с оценками сложности вычислений, обеспечивающих поиск устойчивых решений. Именно по этому важной и актуальной проблемой здесь оказывается поиск путей целенаправленного выделения из «сырых» данных таких прецедентов, которые были бы релевантны целям исследования (например,

позволяли бы уточнять уже «нащупываемые» в данных эмпирические закономерности).

Говоря о компьютерном анализе Big Data, представляется важным учитывать принципиальные отличия собственно анализа данных (АД) и интеллектуального анализа данных (ИАД). Действительно, традиционно АД характеризуется ведущей ролью аппарата (анализа данных – конкретных методов, алгоритмов, а также реализующих их программных систем). В то же время ИАД свойственен противоположный подход – от анализируемой проблемы к адекватному аппарату, обеспечивающему ее решения. Таким образом, критически важным элементом ИАД-подхода оказывается предварительный анализ – спецификация анализируемых предметных областей (ПО). Именно учет специфики представления данных и знаний в соответствующей ПО и является определяющим при выборе адекватного аппарата ИАД. При этом опыт исследований и разработок в области ИИ учит, насколько важно внимание к тому, как человек-эксперт использует аппарат ИАД в анализе конкретной ПО (в частности – как именно эксперт подбирает и синтезирует в процессе выполняемого им ИАД соответствующие познавательные процедуры).

Не менее важно в процессе выбора и использования соответствующих средств ИАД учитывать, что ИИ-система выступает как партнер-усилитель когнитивных возможностей эксперта в процессе анализа Big Data. Здесь критически важную роль играет *интегрируемость* процедурных техник анализа данных, используемых человеком и компьютерной системой. Не менее существенны *интерпретируемость* и *объясняемость* результатов ИАД, порождаемых компьютерной системой: ответственность за конечные решения лежит на человеке – Лице, Принимающем Решения). Именно в этих характеристиках столь существенны различия (как в «качестве» порождаемых результатов, так и в востребованности важными приложениями) двух уже обсуждавшихся (см. выше) подходов к анализу Big Data средствами систем ИИ.

### **3. Deep Learning в рамках предложенной системы оценки возможностей ИИ-систем**

Для примера, чтобы проиллюстрировать представленные выше особенности подходов, характеризующих как возможности, так и границы корректной применимости используемых в ИИ (как в области научных исследований и разработок) методов и технологий, обратимся к так называемому *глубокому обучению* (Deep Learning [Goodfellow et al., 2016]) как, одной из наиболее популярной технологии ML и всего ИИ в целом.

Однако, что же можно утверждать о технологии DL с точки зрения четырех уже рассмотренных нами выше характеристик систем ИАД – эффектов *Big* и *Open*, *интерпретируемости* (в содержательных терминах анализируемой ПО) и *объясняемости* порождаемых результатов, и, наконец, *интегрируемости* «способа рассуждений» эксперта и компьютерной ИИ-системы? К сожалению, немного: лишь в части «отработки» эффекта *Big* эта технология дает бесспорные результаты. В остальных трех «измерениях» качества ее оценки вряд ли можно считать приемлемыми: полученное в результате настройки сети распределение соответствующих коэффициентов (см. выше) не дает каких-либо оснований судить об *интерпретируемости* и *объясняемости* такого распределения в содержательных терминах, «бесшовной» *интегрируемости* с рассуждениями эксперта также нет, а при появлении новых данных (эффект *Open*) весь процесс обучения сети, вообще говоря, следует выполнить заново.

#### 4. О возможностях некоторых альтернативных подходов

Можно ли указать более результативный (по сравнению с DL в смысле представленных выше показателей «качества») подход? Да. Поучительные примеры соответствующих подходов, технологий и решений дает направление ИАД, которое использует те или иные формальные уточнения понятия сходства описаний прецедентов. В частности, это могут быть *метрические* (понимаемые как *расстояние* или *меры близости*) уточнения понятия сходства, развиваемые в рамках так называемого *алгебраического подхода* школой Ю.И. Журавлева–К.В. Рудакова ([Журавлев, 1966; Журавлев, 1978; Рудаков, 1989]). Еще один пример – уточнение сходства как бинарной алгебраической операции (см., например, [Финн, 2004; Финн, 2010; Финн, 2016]). Задача обучения на прецедентах в процессе ИАД рассматривается в этих подходах как неклассический вариант *интерполяционно-экстраполяционной* схемы анализа данных и прогноза, в которой на элементах исходной обучающей выборки прецедентов строится некоторое множество зависимостей, а их переносимость (или же, наоборот, непереносимость) на новые прецеденты рассматривается как процедурное основание для соответствующего прогноза. Нетрудно убедиться, что в обоих представленных подходах:

- локальное сходство (сходство описаний пар прецедентов) оказывается содержательно интерпретируемой конструкцией;
- каждый шаг вычислений «вдоль» цепочки ИАД-рассуждений дает интерпретируемые результаты (т.е. выполняется принцип Л.Д. Ландау, требующий в формальных выкладках пошагового учета «физической» интуиции [Ландау, 1976]).

В свою очередь в рамках ИАД, реализуемого средствами ДСМ-метода ([Финн, 2004; Финн, 2010]), отличающий ИАД от АД принцип подбора средств анализа данных с учетом специфики анализируемых данных развивается до специальной процедурной техники несингулярного оценивания результатов ДСМ-рассуждения: оценку получают и собственно порождаемая эмпирическая зависимость, и способ ее порождения (используемая ДСМ-стратегия ИАД). Предлагаемая техника оценивания «качества» результатов ДСМ-рассуждения представляет собою вариант имитации процесса принятия решений человеком, где, во-первых, может быть использовано открытое множество средств анализа данных, из которого, во-вторых, выбираются релевантные решаемой задаче средства ИАД, далее, в свою очередь, в-третьих, задействованные при порождении соответствующих эмпирических зависимостей (т.е. при порождении модели исследуемой предметной области как результата выполнения ИАД), и наконец, в-четвертых, выполняется упорядочение результатов рассуждений (выделение эмпирических законов, закономерностей, тенденций) использованием предложенного инструментария несингулярного оценивания «качества» результатов ДСМ-ИАД.

## 5. О понятийной структуре ИИ как области исследований и разработок

Завершая предпринятый нами (пусть и фрагментарный) обзор факторов, которые характеризуют *понятийную структуру* ИИ как области исследований и разработок, выделим ее наиболее существенные, на наш взгляд, элементы.

- В части *методологии*: основная задача ИИ – это воспроизведение и усиление рациональных аспектов естественного интеллекта (доступной феноменологии ЕИ), прежде всего, для эмпирических областей, лишённых развитого формального (математического) аппарата, в котором ведущая роль должна быть отведена преобразованиям знаний (а не имитации мозга, как считает ряд специалистов в области так называемых нейронаук).
- В части *методов*: наиболее важные задачи – формализация познавательных процедур для обработки и приобретения нового знания, формальное воспроизведение исследовательских эвристик, уточнение не всегда ясно определяемой (ввиду отсутствия развитого формального аппарата) структуры познавательного процесса в виде схемы «анализ данных  $\Rightarrow$  предсказание  $\Rightarrow$  объяснение».
- В части *«инструментальных» продуктов*: в центре внимания должны быть системы ИИ (компьютерные системы, использующие методы ИИ), в том числе – *интеллектуальные системы* (партнёрские

человеко-машинные системы, реализующие средствами рассуждения познавательный процесс. Автоматический режим их функционирования способен воспроизвести ряд когнитивных способностей ЕИ – выделение существенного; отбор знаний, т.е. посылок для выводов, релевантных цели рассуждения; ампливативный вывод; аргументацию; объяснение; синтез познавательных процедур; обучение. В интерактивном режиме удовлетворяется необходимость влияния познающего субъекта, обусловленная отсутствием развитого формального аппарата, в частности могут быть воспроизведены способности, которые невозможны в автоматическом режиме – целеполагание, рационализация идей, создание целостной картины анализируемой ПО (формирование эмпирических «теорий»), а также адаптация системы знаний в условиях изменения имеющихся данных и знаний – коррекция «теорий»). Разумеется, еще один важнейший инструментальный продукт искусственного интеллекта – это *ИИ-роботы* (характеризуемые как *интеллектуальная система + сенсорика + мехатроника*).

### Заключение

Принимая во внимание уже обозначенные нами выше различия между АД и ИАД, а также выбирая в качестве решающего аргумента в пользу отнесения компьютерных систем к категории *интеллектуальных* возможности имитации их средствами тех или иных *способностей ЕИ* (воспроизведения элементов феноменологии ЕИ), несложно заключить, что технологии DL (в соответствии с предложенными принципами классификации) следует отнести к классу средств АД, в то время как технологии на базе формальных уточнений понятия *сходства* естественным образом попадают в класс средств ИАД. При этом представляется естественным к области ИАД в широком смысле относить в том числе и вычислительные методы (подходы на базе числовых расчетов), обеспечивающие имитацию когнитивных способностей ЕИ компьютерными средствами, а ИАД в узком смысле характеризовать использованием формальных моделей рассуждений.

Именно по этим причинам, ориентируясь на предпринятый анализ, а также потребности соответствующего класса приложений, каждый участник коллектива авторов этой работы считает необходимым заявить: я – не *Deep Learner*.

## Список литературы

- [Вальков, 2005] Вальков А.С. Субквадратичные алгоритмы анализа данных. – Диссертация на соискание ученой степени к.ф.м.н. по специальности 01.01.09 – Дискретная математика и математическая кибернетика. – М.: ВЦ РАН, 2005. – <http://www.dissercat.com/content/subkvadratichnye-algoritmy-metriceskogo-analiza-dannykh>.
- [Журавлев, 1966] Журавлев Ю.И. Локальные алгоритмы вычисления информации I, II // Кибернетика, 1965, № 1; 1966, № 2.
- [Журавлев, 1978] Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики, 1978, Вып. 33.
- [Ландау, 1976] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. – М.; Наука, 1976.
- [Рудаков, 1989] Рудаков К.В. Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации // Распознавание, классификация, прогноз. – М.: Наука, 1989.
- [Финн, 2010] Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах ИИ // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010, Часть I, № 3; Часть II, № 4.
- [Финн, 2011] К структурной когнитологии: феноменология сознания с точки зрения искусственного интеллекта // В кн.: Финн В.К. Искусств. интеллект: методология, применения, философия. – М.: КРАСАНД, 2011.
- [Финн, 2013] Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Научно-техническая информация. Сер. 2, 2013, № 9 (Часть I); № 12 (Часть II).
- [Финн, 2016] Финн В.К. О классе ДСМ-рассуждений, использующих изоморфизм правил индуктивного вывода // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016, № 3.
- [Barno et al., 2016] Barno D., Bensahel N. The Future of the Army. Today, tomorrow and the day after tomorrow. – Atlantic Council. 2016. – [http://www.realcleardefense.com/articles/2016/09/22/the\\_future\\_of\\_the\\_army\\_110105.html](http://www.realcleardefense.com/articles/2016/09/22/the_future_of_the_army_110105.html).
- [Finn et al., 2017] Finn V.K., Zabezhailo M.I. Intelligent Data Analysis and Machine Learning: are they really equivalent concepts? // Proc. 2-nd Russia and Pacific Conf. on Computer Technology and Applications. IEEEExplore (Digital library). 2017. – <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8121828>.
- [Goodfellow et al., 2016] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge MA: MIT Press. 2016. – <http://www.deeplearningbook.org>.
- [IJCAI-XAI, 2017] IJCAI 2017 Workshop on Explainable Artificial Intelligence (XAI). – <http://home.earthlink.net/~dwaha/research/meetings/ijcai17-xai>.

---

СЕКЦИЯ 5 | ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
ТЕКСТОВ И СЕМАНТИЧЕСКИЙ WEB

УДК 519.688

**ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНОВ И ИХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ  
ПРЕДМЕТНОГО УКАЗАТЕЛЯ НАУЧНОГО ТЕКСТА**

Е.И. Большакова (*bolsh@cs.msu.ru*)

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Москва

К.М. Иванов (*ivanov.kir.m@yandex.ru*)

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, Москва

Предметный указатель – список значимых терминов текстового документа с указанием страниц, на которых они употребляются. В работе описываются методы на основе лексико-синтаксических шаблонов и правил, разработанные для автоматического извлечения и отбора терминов в предметный указатель заданного научного текста, а также для выявления их подчинительных связей.

**Ключевые слова:** извлечение терминов, предметный указатель, научные тексты, лексико-синтаксические шаблоны и правила

## Введение

Предметные указатели (back-of-the-book indexes) создаются для текстовых документов большого и среднего объема, таких как книги, руководства, учебные пособия и др., особенно в узкоспециализированных областях. Предметный указатель (ПУ) содержит значимые термины текста с указанием номеров страниц, где они употребляются, облегчая тем самым поиск нужной информации. Типичные фрагменты ПУ показаны на рис. 1: соответственно иерархического указателя (слева) и плоского (справа). Иерархический указатель включает кроме самих терминов их подчинительные (иерархические) связи (например: блок символов – линейный блок символов), и его можно рассматривать как квазионтологию понятий, рассмотренных в документе.

Из-за трудоемкости создания ПУ они часто отсутствуют в книгах, особенно это касается текстов из быстро развивающихся научно-технических областей, что делает задачу автоматизированного их построения актуальной. В тоже время проблемы автоматизации построения предметного указателя для заданного текстового документа слабо изучены. Центральной проблемой является извлечение однословных и многословных терминов из заданного текста на основе лингвистических и статистических критериев и последующий отбор наиболее подходящих для ПУ. Для построения иерархического предметного указателя также требуется выявление смысловых связей уже извлеченных терминов: подчинительных и синонимичных, последние представляются в указателях перекрестными ссылками (на рис. 1 это связь *двоичный файл – бинарный файл*).

... .. - Б - бинарный файл 67 бит 7 блок символов 110 — линейный 112 — прямоугольный 121, 167-170 блок-схема 20-25, 170 ... .. - Д - двоичный файл (см. <i>бинарный файл</i> ) ... .. - П - понятие абстракции 45 — алгоритма 50, 80 — атрибута объекта 156, 179 ... ..	... .. - Б - бинарный файл 67 бит 7 блок символов 110 блок-схема 20-25, 170 ... .. - Д - двоичный файл (см. <i>бинарный файл</i> ) ... .. - Л - линейный блок символов 112 ... .. - П - понятие абстракции 45 понятие абстракции алгоритма 50, 80 понятие абстракции атрибута объекта 156 ... ..
---	---

Рис. 1. Фрагменты предметного указателя



Широко применяемые для извлечения терминов методы и технологии [Korkontzelos et al., 2012] опираются в основном на статистику терминопотреблений и ориентированы на обработку коллекций специализированных текстов, с целью создания терминологических словарей, тезаурусов и онтологий соответствующих предметных областей. Однако для извлечения терминов из отдельно взятых текстов они недостаточно эффективны, и решение этой задачи применительно к созданию ПУ рассматривалось в очень небольшом числе работ.

Методы извлечения терминов, разработанные в [Csomai et al., 2007, 2008] для построения ПУ англоязычных документов, используют структурные особенности терминов и различные статистические меры, основанные на частоте встречаемости слов в тексте, но даже при применении машинного обучения они достигают лишь 27–28% полноты и точности. Для схожей задачи извлечения ключевых слов результаты, приведенные в статье [Hasan et al., 2014], составляют 35% точности, 66% полноты и 45,7% F-меры (комбинированного показателя полноты и точности). Примерно такие же оценки дает метод извлечения терминов для ПУ, описанный в работе [Wu et al., 2013] и опирающийся на комбинацию нескольких статистических мер значимости терминов.

Предложенный в [Arora et al., 2016] метод извлечения терминов для построения глоссариев документов, с применением кластеризации извлеченных терминов, показывает в экспериментах 35–67% F-меры (точность – 21–51%, полнота – около 90%).

В работе [Zargayouna et al., 2006] кратко охарактеризована система InDoc, автоматизирующая построение ПУ и применяемый метод извлечения терминов, основанный на лингвистических правилах. Правила определяют различные грамматические структуры терминов и их возможные текстовые варианты. Однако оценка эффективности метода в статье не представлена, как и в статье [Da Sylva et al., 2013], также посвященной автоматизации построения предметных указателей.

В настоящей работе, продолжающей исследования [Bolshakova et al., 2015], рассматривается задача извлечения терминов и их связей для построения предметного указателя научно-технического текста, что позволяет учесть особенности употребления терминов в таких текстах и достичь достаточно высокой эффективности их извлечения (в среднем до 70–79% точности, полноты и F-меры). Разработанные методы основаны на лексико-синтаксических шаблонах и правилах, описывающих структуру терминов, а также типичные конструкции их использования в научно-технических текстах на русском языке. Для русскоязычных текстов эта задача решена впервые, а новизна предложенной процедуры отбора терминов в ПУ состоит в учете разных факторов значимости терминов.

Шаблоны и правила формализованы на языке LSPL [LSPL], а методы реализованы с помощью инструментов поддержки этого языка и встроены в исследовательский прототип системы автоматизированного построения ПУ, позволяющей человеку-эксперту редактировать результаты.

## 1. Шаблоны для извлечения терминов из текста

Для выделения терминов из исходного текста были созданы три набора LSPL-шаблонов и правил.

Первый набор из 12 правил определяет извлечение терминов по их грамматической структуре. Правила фиксируют часть речи составных слов термина и их грамматические характеристики (падеж, число и т.п.). Например, шаблон  $A N1 N2 <c = gen>$  включает:  $N1$  – существительное,  $A$  – прилагательное,  $N2$  – существительное в родительном падеже (*прямоугольный блок символов*).

Второй набор из 53 правил охватывают большинство типичных для русского языка фраз-определений терминов, встречающихся в научных текстах, например: *Плоской триангуляцией мы называем связный плоский граф, каждая грань которого...* Правила включают как отдельные лексические единицы таких фраз (глаголы *называть*, *определять* и т.д.), так и вспомогательные шаблоны грамматической структуры терминов (из первого набора правил). В частности, для вышеприведенного примера определения, термин *плоская триангуляция* извлекается следующим правилом:

$$\text{Term} <c = ins> \text{"мы"} \text{"называем"} \Rightarrow \# \text{Term},$$

где исходный термин *Term* должен быть в творительном падеже ( $c = ins$ ), но извлекается ( $\Rightarrow$ ) он в нормальной форме, т.е. как лемма ( $\# \text{Term}$ ).

Третий набор правил состоит из 25 правил, учитывающих типичные конструкции введения терминологических синонимов и сокращений в русскоязычных научных текстах, например: *...информационная система, или просто ИС*. Правила данной группы распознают и извлекают пары терминологических синонимов, опираясь на знаки пунктуации (запяты) и лексические маркеры (в частности, слова *или просто*). Приведем пример такого правила (слово *просто* задается как опционально):

$$\text{Term1 " , " или " ["просто"] Term2} \Rightarrow \# \text{Term} \text{ "-} \gg \# \text{Term2}.$$

В результате независимого применения рассмотренных наборов правил из текста извлекаются три множества *терминов-кандидатов*, причем эти множества пересекаются, в частности, есть термины, извлеченные как шаблонами грамматической структуры, так и шаблонами конструкций определений терминов.

Для каждого набора (вида) правил была экспериментально определена точность извлечения терминов, для этого использовались два учебно-науч-

ных пособия по языкам программирования, включающих авторские предметные указатели. Для первого набора правил эксперименты ожидаемо показали высокую полноту, но низкую точность извлечения (8–10%). Правила второго набора, напротив, демонстрируют высокую точность (90–95%), в основном за счет задаваемых в них лексических маркеров. Аналогично, третий набор правил показывает довольно хорошую точность в 63–67%. Точность правил второго набора учитывалась при объединении извлеченных множеств терминов-кандидатов, для отбора наиболее значимых в предметный указатель.

## 2. Процедура отбора терминов

По результатам экспериментов с множествами извлеченных терминов разработана эвристическая процедура, выявляющая термины предметного указателя. В начале работы процедура осуществляет фильтрацию терминов-кандидатов, для чего используются два предварительно сформированных списка стоп-слов. Первый список содержит слова, которые сами не могут быть терминами (например, *метод*, *конец*), второй же список включает слова, в основном прилагательные, которые не могут быть частью терминов (*данный*, *известный* и т.п.). Из всех трех множеств исключаются слова и сочетания, которые: (а) встречаются в первом списке стоп-слов; (б) содержат слова из второго списка; (с) состоят только из слов первого списка. Тем самым отбрасывается значительное число выражений общенаучной лексики (например, *проблема*, *простая задача*).

Затем процедура итеративно формирует набор терминов предметного указателя из элементов уже отфильтрованных множеств, при этом учитываются следующие факторы значимости отбираемых терминов:

- точность шаблона определения термина, примененного для его извлечения: поскольку новые термины (определяемые в тексте) очевидно относятся к значимым, они подлежат обязательному включению в ПУ, при условии, что соответствующий шаблон принадлежит группе наиболее точных шаблонов;
- использование термина в заголовке/подзаголовке текстового документа также указывает на его значимость;
- частота появления термина в тексте: согласно закону Ципфа, наиболее значимыми являются единицы со средней частотой и поэтому они в первую очередь выбираются для ПУ;
- лексическое сходство терминов (мы определяем его как наличие у них общих слов, например, *однородный многочлен* и *многочлен второй степени*): термин-кандидат добавляется в указатель, если он имеет лексическое сходство с любым элементом, уже включенным в ПУ.

Для оценки разработанной процедуры были взяты 5 учебно-научных пособий среднего размера (каждое около 20 тыс. слов), посвящённых языкам (ЯП), системам программирования (СП), а также эвристическим методам поиска (ЭП) в искусственном интеллекте. Включенные в них авторские предметные указатели рассматривались как эталонные множества терминов, и с их помощью оценивались полнота, точность и F-мера применяемого метода. Результаты представлены в табл. 1.

Табл. 1.

Текст	Слов в тексте	Извлечено терминов для ПУ		P	R	F
		Число	Примеры			
ЯП (Лисп)	21060	140	<i>рекурсивная функция</i>	0,74	<b>0,84</b>	<b>0,79</b>
ЯП (Рефал)	29301	208	<i>функциональный терм</i>	0,56	0,82	0,67
ЯП(Пролог)	21376	77	<i>предикаты ввода</i>	<b>0,77</b>	0,72	0,78
ЭП	19471	98	<i>альфа-бета процедура</i>	0,71	0,74	0,73
СП	11699	67	<i>языковое окружение</i>	0,70	0,81	0,75
Среднее	20581	118		<b>0,70</b>	<b>0,79</b>	<b>0,74</b>

Приведенные оценки показывают хорошую эффективность отбора терминов в предметный указатель: для разных текстов полнота составила от 0,72 до 0,84, тогда как точность варьируется от 0,56 до 0,77, что значительно превышает оценки методов отбора (преимущественно статистических и с использованием машинного обучения), описанных в [Csomai et al., 2007, 2008], а также превышает оценки результативности известных открытых систем автоматического извлечения терминов, представленные в работе [Agora et al., 2016]: 20-47% F-меры.

Проведенный анализ случаев неполного или неточного отбора терминов в ПУ показал, что одной из главных причин являются ограничения применяемых лингвистических правил и лексико-синтаксических шаблонов. В частности, некоторые термины не извлекаются из-за их сложной или необычной грамматической структуры, не представленной в текущем наборе шаблонов (к примеру, термин *поиск в ширину* с грамматическим образцом  $N + Prep + N$ ).

Обнаружилось также, что отдельные термины, отобранные для ПУ нашим методом и отсутствующие в эталонном (авторском) предметном указателе (например, *логическое программирование* из текста по языку программирования Пролог), являются тем не менее релевантными для предметного указателя. Они могли быть опущены автором ПУ по разным причинам, так как стандарты на размер и состав предметных указателей отсутствуют. Ясно, что при отборе терминов в предметный указатель полнота извлечения терминов оказывается важнее, чем точность (при условии, что

количество извлеченных терминов не слишком велико), поскольку пользователю автоматизированной системы построения ПУ легче отбросить уже выделенные термины, чем искать в тексте и добавлять новые.

### 3. Выявление связей терминов

Для формирования иерархической структуры предметного указателя текста должны быть выявлены подчинительные связи между парами отобранных в ПУ терминов: внутри указателя один элемент выявленной пары будет представлять *заголовок*, а другой – *подзаголовок* (к примеру, на рис. 1: *блок символов – линейный*). Подчинительная связь в большинстве случаев оказывается родовидовой связью соответствующих понятий, т.е. члены пары – это гипоним и гипероним, например, *понятие абстракции алгоритма* и *понятие абстракции*.

Отметим, что выявление иерархических связей терминов особо полезно для пользователей предметного указателя, когда среди отобранных единиц много лексически схожих, а значит, и понятийно близких терминов.

Кроме подчинительных связей терминов требуется распознавание синонимических смысловых связей для определения перекрестных ссылок в указателе (см. *двоичный файл – бинарный файл* на рис. 1). В нашем методе пары синонимов распознаются на этапе извлечения терминов, поэтому ниже мы описываем только выявление подчинительных связей на основе информации о структуре многословных терминов.

Известно, что термины-гипонимы часто получают из терминов-гиперонимов путем дополнения последних определяющими словами [Скорородько, 2001], например, *левая свертка – свертка, протокол передачи – протокол передачи сообщения*. Как и в работе [Zargayouna et al., 2006] – единственной известной нам работе, описывающей выявление подчинительной связи терминов для ПУ – мы определяем потенциальные гиперонимы на основе грамматической структуры терминов, используя уже созданный набор лексико-синтаксических шаблонов. Примеры соответствующих грамматических образцов потенциальных гиперонимов для трех разных грамматических структур многословных терминов представлены в табл. 2.

Кроме указанной информации о грамматических образцах гиперонимов, представленной в виде шаблонов, используется также простая статистика терминуопотреблений в обрабатываемом документе.

Табл. 2.

Грамматическая структура терминов	Пример термина	Потенциальные гиперонимы	
$N1 N2 <c=gen>$	<i>База знаний</i>	$N1$	<i>База</i>
		$N2$	<i>Знания</i>
$A N$	<i>Абсолютная адресация</i>	$N$	<i>Адресация</i>
$A1 A2 N$	<i>Абстрактная семантическая сеть</i>	$N$	<i>Сеть</i>
		$A1 N$	<i>Абстрактная сеть</i>
		$A2 N$	<i>Семантическая сеть</i>

Для выявления подчинительных связей каждого термина  $T$ , отобранного для предметного указателя, выполняется следующая процедура. Сначала из состава термина  $T$  извлекаются все слова и словосочетания  $\{T_p\}$ , которые потенциально могут стать для него гиперонимами. Затем вычисляется частота встречаемости в тексте самого  $T$ , а также каждого элемента из  $\{T_p\}$ . Наконец, применяется правило: в качестве гиперонима (заголовка ПУ) выбирается элемент из  $\{T_p\}$  с наивысшей частотой встречаемости в тексте – при условии, что его частота больше частоты встречаемости самого  $T$  (если таких элементов несколько, то выбирается первый по алфавиту). В случае, когда частоты всех элементов из  $\{T_p\}$  не превышают частоту термина  $T$ , то он сам образует самостоятельную единицу указателя (без гипонимов). Указанное правило гарантирует самостоятельное и частотное употребление в тексте термина-гиперонима, что является основанием введения в предметный указатель соответствующего заголовка.

Например, для термина *абстрактная семантическая сеть*, потенциальными гиперонимами являются: *сеть*, *абстрактная сеть*, *семантическая сеть*. Если термин *семантическая сеть* имеет самую высокую частоту, он становится заголовком, а термин *абстрактная семантическая сеть* будет считаться его гипонимом (подзаголовком).

После выявления подчинительных связей терминов формируется иерархическая структура ПУ: из каждого термина-гипонима удаляется его составная часть, идентичная гиперониму, а оставшая часть располагается на втором уровне иерархии. Для рассмотренного примера результирующая структура имеет вид:

*семантическая сеть*  
– *абстрактная*

Поскольку стандарты на построение заголовков в иерархическом предметном указателе отсутствуют, описанный метод выявления подчинительных связей терминов экспериментально не оценивался.

## Заключение

В работе описан основанный на лингвистических шаблонах и правилах метод извлечения терминов из научно-технических текстов и метод выявления их смысловых связей (подчинения и синонимии), разработанные для автоматизированного построения предметных указателей. Экспериментальная оценка метода извлечения и отбора терминов показала его достаточную эффективность для применения в рамках системы поддержки построения предметных указателей: в среднем 70% точности, 79% полноты и 74% F-меры.

Описанные методы встроены в прототип системы поддержки построения предметного указателя с открытым программным кодом (<https://github.com/ivanov-kir-m/SISTool>).

Перспективы совершенствования методов связаны с расширением используемого набора шаблонов и правил, а также с уточнением используемых в методах эвристических процедур.

## Список литературы

- [Скороходько, 2001] Скороходько Э.Ф. Термины, выражающие новые знания в структуре научных текстов // НТИ, Сер. 2., 2001, № 4.
- [Arora et al, 2016] Arora C., Sabetzadeh M., Briand L., Zimmer F. Automated Extraction and Clustering of Requirements Glossary Terms // IEEE Transactions on Software Engineering. 2016. Vol.43. Iss. 10.
- [Bolshakova et al, 2015] Bolshakova E.I., Efremova N.E. A Heuristics Strategy for Extracting Terms from Scientific Texts // Fourth Int. Conference AIST, CCIS, Vol. 542. Springer Berlin Heidelberg. 2015.
- [Csomai et al, 2007] Csomai A., Mihalcea R. Investigations in Unsupervised Back-of-the-Book Indexing // Proc. of the Florida Artificial Intelligence Research Society Conference. 2007.
- [Csomai et al, 2008] Csomai A., Mihalcea R. Linguistically Motivated Features for Enhanced Back-of-the Book Indexing // Proceedings Annual Conf. of the ACL, ACL/HLT. 2008. Vol. 8.
- [Da Sylva et al, 2013] Da Sylva L. Integrating Knowledge from Different Sources for Automatic Back-of-the-Book Indexing // Proceedings of the Annual Conference of CAIS/Actes du congrès annuel de l'ACSI. 2013.
- [Hasan et al, 2014] Hasan K.S., Ng V. Automatic keyphrase extraction: a survey of the state of the art // Proceedings of the 52th Annual Meeting of the ACL. 2014.
- [Korkontzelos et al, 2012] Korkontzelos I., Ananiadou S. Term Extraction // Oxford Handbook of Computational Linguistics (2nd Ed.), Oxford University Press. 2012.
- [LSPL] Lexico-Syntactic PatternLanguage. – <http://lspl.ru>.
- [Wu et al, 2013] Wu Z. et al. Can Back-of-the-Book Indexes be Automatically Created? // Proc. of the 22nd ACM Int. Conf. on Information & Knowledge Management. 2013.
- [Zargayouna et al, 2006] Zargayouna H., El Mekki T., Audibert L., Nazarenko A. IndDoc: an Aid for the Back-of-the-Book Indexer // The Indexer. 2006. 25(2).

УДК 004.82

## НОВЫЙ ПОДХОД К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ СЕМАНТИЧЕСКОГО СХОДСТВА РАЗНОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ЗАИМСТВОВАНИЙ<sup>1</sup>

К.И. Кузнецов (*k.smith@mail.ru*)

Институт проблем информатики  
Федерального исследовательского центра  
«Информатика и управление» РАН, Москва

А.Х. Хакимова (*aida\_khatif@mail.ru*)

Институт физико-технической информатики, Протвино

М.М. Шарнин (*mc@keywen.com*)

Институт проблем информатики  
Федерального исследовательского центра  
«Информатика и управление» РАН, Москва

В работе приведен обзор методов оценки семантического сходства разноязычных текстов, применяемых для обнаружения межязыковых текстовых заимствований. Выделено пять семейств поисковых моделей, основанных на: синтаксисе, тезаурусе, сопоставимых корпусах, параллельных корпусах и машинном переводе. Приведен пример авторского алгоритма и программы оценки межязыкового семантического сходства для текстов на русском, украинском и английском языках.

**Ключевые слова:** межязыковые текстовые заимствования, семантическое сходство разноязычных текстов, семантический вектор, мегалеммы, автоматическое обнаружение текстовых заимствований, языковые пары

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00756, 16-29-09527, 18-07-00909 и 18-07-01111).



## Введение

К настоящему времени активизируется борьба с неправомерным использованием чужой интеллектуальной собственности. В случае письменного языка плагиат означает включение в документ фрагментов текста (текстовых заимствований), написанных кем-то другим, без предоставления соответствующей ссылки.

В одноязычном контексте проблема обнаружения текстовых заимствований хорошо разработана [Potthast et al., 2014]. Современные программы обнаружения сходства между документами, написанными на одном же языке, позволяют выявить текстовые заимствования с высокой точностью. Расширение возможностей Интернета облегчает доступ к документам во всем мире, а свободно доступные инструменты машинного перевода способствуют распространению межъязыковых текстовых заимствований.

Согласно Barq'on-Cedeño, межъязыковое обнаружение плагиата заключается в распознавании семантически подобных текстов независимо от языков, на которых они написаны, когда не приводится ссылка на исходный источник [Barq'on-Cedeño et al., 2008]. Проблема в обнаружении такого рода семантически подобных текстов заключается в том, что подозрительный документ больше не находится в языковом поле его источника.

Следует отметить, что в научной литературе практически отсутствует описание систем оценки межъязыкового семантического сходства с русскими текстами и, тем более, межъязыковых текстовых заимствований для русских текстов. Одной из таких систем является авторская разработка для сопоставления текстов на русском, украинском и английском языках, описанная в разделе 2.

### **1. Современные методы обнаружения межъязыковых текстовых заимствований**

Определение межъязыкового семантического подобия текстов является основной частью процесса обнаружения межъязыковых текстовых заимствований.

На данный момент выделено пять типов подходов для обнаружения межъязыковых текстовых заимствований. Цель каждого метода – оценить, выражают ли две текстовые единицы на разных языках одно и то же сообщение, или нет. На рис. 1 представлена таксономия, включающая методы обнаружения межъязыковых текстовых заимствований, сгруппированные по классам подходов.

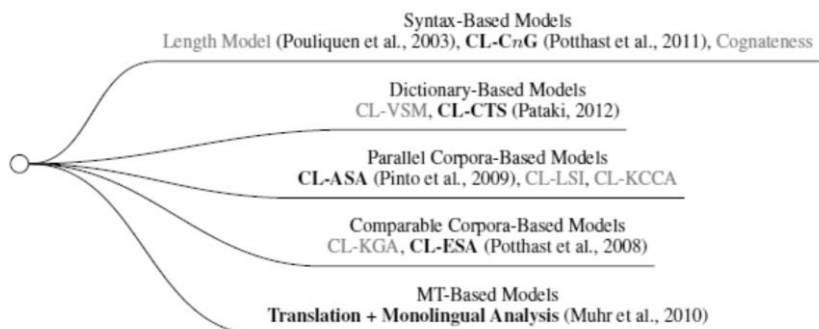


Рис. 1. Таксономия [Potthast et al., 2011], уточненная Danilova [Danilova, 2013], различных подходов к обнаружению межъязыкового семантического сходства

### 1.1. Модели на основе синтаксиса

Модель Cross-Language Character N-Gram (CL-CNG) основан на работе McNamee и Mayfield [McNamee, Mayfield, 2004]. CL-CNG модель использует токенизацию. Размер N-грамм выбирают равным 4. Тексты затем сегментируются в 3-Gram (последовательности из 3 смежных символов) и преобразуются в векторы характера tf.idf. Метрика, используемая для сравнения двух векторов, является сходством косинусов. Ключевое отличие этого подхода заключается в возможности сравнения многоязычных документов без перевода. Наилучшие результаты были достигнуты для языков, имеющих сходную синтаксическую структуру и международный лексикон (например, родственные пары европейских языков).

### 1.2. Модели на основе словаря

Модель CL-VSM (Cross-Language Vector Space Model, векторное межъязыковое пространство) заключается в построении моделей векторного пространства документов с использованием индексированных тезаурусов, словарей и другие понятийных пространств. Например, многоязычный JRC-Acquis Parallel Corpus, представленный в [Steinberger, 2012] связывают тексты с помощью так называемых «языково-независимых анкеров», многоязычных пар слов, которые обозначают имена сущностей, местоположения, даты, единицы измерения и т.д.

### 1.3. Модели на основе сопоставимых корпусов

Модель Cross-Language Explicit Semantic Analysis (CL-ESA) основана на явной семантической модели анализа, впервые введенной Габрилович и Маркович [Gabrilovich, Markovitch, 2007], которая представляет векторное значение документа на основе словаря, полученного из Википедии, чтобы

найти документ внутри корпуса. Модель была использована Potthast и др. [Potthast et al., 2008] в контексте межязыкового поиска документов.

Согласно Талвенсаари [Talvensaaari, 2008], в отличие от параллельных корпусов (CL-LSI, CL-KCCA и CL-ASA модели), концепция сопоставимых корпусов не связана с переводами, ориентированными на предложения. Она представлена темами, связанными общим лексиконом. Энциклопедия Википедии и аналогичные ресурсы могут служить примером. Эти корпуса являются более зашумленными, но в то же время более гибкими.

Один из последних подходов под названием CL-KGA (Cross-Language Knowledge Graph Analysis) или анализ графов знаний на разных языках, представленный Franco-Salvador et al. [Franco-Salvador et al., 2013], существенно отличается тем, что он основан на использовании недавно созданной многоязычной семантической сети BabelNet и включает графическое представление текста. BabelNet [Navigli, Ponzetto, 2010] – многоязычная сеть большого размера, формируемая с помощью направленных и взвешенных графов, в которых узлы представляют собой понятия и имена объектов, а ребра – отношения между ними. Список понятий BabelNet формируется всеми значениями слова WordNet и записи Википедии.

#### **1.4. Модели на основе параллельных корпусов**

Модель Cross-Language Alignment-based Similarity Analysis (CL-ASA) была предложена Barr'on-Cedeño et al. [Barr'on-Cedeño et al., 2008] и впоследствии расширена Pinto et al. [Pinto et al., 2009]. CL-ASA подразумевает создание двуязычного статистического словаря на основе параллельного корпуса с использованием модели IBM 1 [Brown et al., 1993]. Модель предназначена для определения того, является ли текстовая единица переводом другой текстовой единицы с использованием двуязычного словаря, который содержит пары переводов из параллельных корпусов.

Модель CL-LSI (Cross-Language Latent Semantic Indexing) также использует параллельные корпуса. Potthast et al. отмечают, что CL-LSI характеризуется плохой производительностью из-за использования разложения сингулярного значения оригинала матриц документов, как основы алгоритма [Potthast et al., 2011].

#### **1.5. Модели на основе машинного перевода**

Barr'on-Cedeño et al. (2013) добавил к классификации пятую модель (MT-based models). Translation + Monolingual Analysis (T+MA) (Перевод + Моноязычный анализ, T + MA) состоит в переводе подозрительных текстовых заимствований назад, на язык исходного текста, для того, чтобы провести одноязычное сравнение между ними. В работе [Muhr et al., 2010] предложена реализация модели, заключающаяся в замене каждого слова одного текста на его наиболее вероятные переводы на язык другого текста,

что приводит к мешку слов. Метрика, используемая для сравнения двух текстов – это одноязычное соответствие, основанное на строгом пересечении мешков слов.

## **2. Авторский алгоритм оценки межязыкового семантического сходства**

Нашей целью была разработка алгоритма, эффективно работающего между любыми языковыми парами, и, особенно, между русскими и английскими документами. Русский язык имеет три основных отличия по сравнению с английским языком:

- свободный порядок слов в предложении;
- сопряжение;
- существенно отличная грамматика.

Авторами предложен алгоритм и разработана программа обнаружения межязыкового семантического сходства, относящийся ко второй группе моделей (модели на основе словаря), предварительное название алгоритма – Cross-Language Megalemma-based Similarity Analysis (CL-MSA).

Алгоритм основан на предварительном преобразовании текстов в последовательность конструкций (мегалемм), которые не зависят от языка, и в осуществлении дальнейших оценок на этих конструкциях. Чтобы показать, что алгоритм не зависит от языка, мы включили в исследование русско-английский тестовый корпус, а также украинско-русский.

Мегалемма – это множество морфологически нормализованных однокоренных слов русского языка (деривативная группа) вместе с вариантами перевода этих слов на другие языки. Сейчас другими языками являются украинский и английский. Набор данных для исследований был разработан с применением методов машинного перевода. Деривативные группы терминов были дополнены английскими словами при помощи перевода через yandex-транслятор.

Например, мегалемма ПОДХОД содержит русские слова ПОДХОД, ПОДХОЖДЕНИЕ, ПОДХОДНЫЙ, ПОДХОДИТЬ, ПОДХОДИВШИЙ, ПОДХОДЯЩИЙ, ПОДОЙТИ, ПОДОШЕДШИЙ, украинские аналоги ПІДХІД, ПІДХОДИВ, ПІДХОДИТИ, ПІДХІДНИЙ, ПІДХОДЯЩИЙ и английские APPROACH, SUITABLE, APPROACHED.

В настоящий момент составлен словарь из около 14000 мегалемм, покрывающий наиболее употребимые слова. Словарь мегалемм для русского языка составлялся на основе словаря дериватов, который был получен в результате автоматического анализа толковых словарей Ожегова и Ушакова и последующей ручной корректировки и дополнения. Далее, каждое русское слово из словаря автоматически переводится на другой язык (украинский и английский), тем самым пополняя дериватную группу, в результате

получается так называемый словарь мегалемм. При пополнении словаря мы руководствуемся тем принципом, что пусть мегалемма содержит как можно больше вариантов, возможно, даже ошибочных. Поскольку сравнение идёт на уровне всего объёма текста, а семантические вектора имеют статистическую природу, то небольшие погрешности и неоднозначности существенной роли на результат не оказывают.

Мегалемма в общем случае соответствует одному слову исходного текста, однако более информативными являются такие конструкции, как именные группы и генетивные группы. Именная группа – это существительное с возможными прилагательными, согласованными по роду, числу и падежу с существительным. Генетивная группа – это две рядом стоящие именные группы, причём вторая в родительном падеже (для английского – разделённая предлогом of). Для каждой такой группы формируется последовательность мегалемм, которая сортируется внутри группы в алфавитном порядке – эту последовательность назовём мегатокеном. Таким образом, текстам «продуктовый магазин», «магазин продуктов», «магазин продуктів», «grocery store» соответствует один и тот же мегатокен [МАГАЗИН + ПРОДУКТ].

Семантическим вектором для текста назовём вектор его мегатокенов с весами. В качестве весов можно выбрать различные метрики, например, частоты встречаемости в этом тексте или tf-idf в некотором корпусе текстов. Оценка межъязыкового семантического сходства двух текстов (коэффициент близости) определяется как косинус соответствующих векторов по формуле:

$$\cos(x, y) = \frac{\text{сумма}(i) * y(i)}{\text{корень}(\text{сумма}(x(i) * x(i)) * \text{сумма}(y(i) * y(i)))}, \quad (2.1)$$

где  $\{x(1), \dots, x(N)\}$  – частоты встречаемости мегатокенов в 1-м тексте,  $\{y(1), \dots, y(N)\}$  – во 2-м тексте.

Для переводных текстов с большим количеством заимствований этот коэффициент имеет относительно большое значение. Коэффициент близости векторов на одинаковых текстах равен 1, на абсолютно разных – 0. Эта метрика может использоваться для сравнения двух текстов друг с другом. Однако, поскольку пространство поиска линейно увеличивается с размером базы данных, требуется сокращение пространства поиска до выбора только тех кандидатов из базы данных, которые являются возможными переводами подозреваемых документов.

Семантические вектора могут позволить искать близкие тексты в корпусах довольно больших объёмов, однако для задачи обнаружения текстовых заимствований на практике можно использовать следующий подход.

Индекс по большой коллекции определяется на основе семантических векторов, однако его большое значение ещё не гарантирует наличия текстовых заимствований. Верно обратное – наличие текстовых заимствований приводит к большому значению индекса, поэтому можно отобрать некоторое количество «кандидатов» с большим коэффициентом близости для дальнейшей проверки на текстовые заимствования более трудоёмким способом на уровне повторов мегалемм. Такой подход использовался в проекте DISSERCOMP ([www.dissercomp.ru](http://www.dissercomp.ru)) в рамках совместной работы с сообществом Диссернет, где он показал свою работоспособность. Вот как, например, выглядят русско-английские текстовые заимствования (рис. 2).

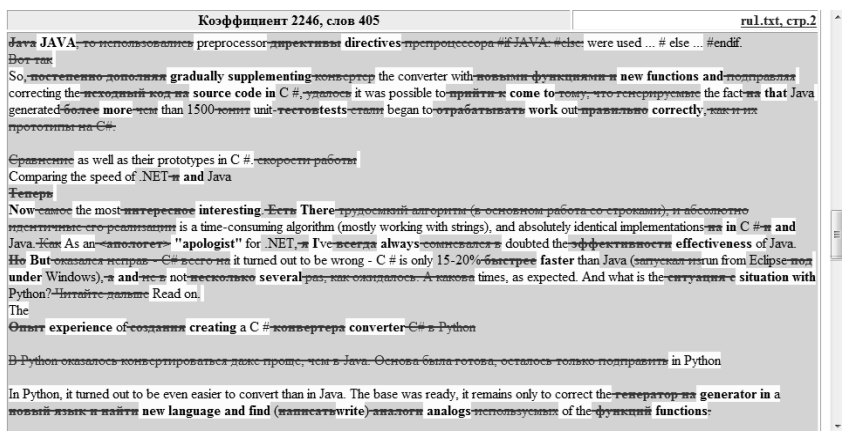


Рис. 2. Результат выявления русско-английских текстовых заимствований

На рис. 2 утилита сравнения показывает изменения переводного фрагмента по сравнению с исходным фрагментом, но поскольку фрагменты на разных языках, то формально совпадений мало, а на уровне мегалемм тексты практически идентичны.

Эксперименты показали, что на близких разноязычных текстах одной тематики, в том числе, на текстах с заимствованиями и качественных переводах, мера семантического подобия (косинусная мера) находится в пределах 0,7, для текстов из разных тематик – около 0,3.

## Заклучение

В настоящее время выделяют пять семейств поисковых моделей, основанных на: синтаксисе, тезаурусе, сопоставимых корпусах, параллельных корпусах и машинном переводе.

Предлагаемый нами алгоритм обнаружения межъязыкового семантического сходства относится ко второй группе моделей (модели на основе словаря), предварительное название алгоритма – Cross-Language Megalemma-based Similarity Analysis (CL-MSA). Алгоритм работает для русского, украинского и английского языков.

Алгоритм основан на предварительном преобразовании текстов в последовательность конструкций (мегалемм), не зависящих от языка. Последовательность мегалемм, сформированная для именных и генетивных групп, является мегатокеном. Один и тот же мегатокен соответствует разноразличным текстам. Использование вектора мегатокенов с весами в качестве семантического вектора для текста позволяет оценить семантическую близость текстов на разных языках.

## Список литературы

- [Barr'on-Cedeño et al., 2008] Barr'on-Cedeño A., Paolo Rosso, Pinto D., Juan A. On Cross-lingual Plagiarism Analysis using a Statistical Model // Proceedings of the ECAI'08 PAN Workshop: Uncovering Plagiarism, Authorship and Social Software Misuse. Patras, Greece. 2008.
- [Barr'on-Cedeño, 2012] Barr'on-Cedeño A. On the Mono- and Cross-Language Detection of Text Re-Use and Plagiarism (Thesis). – Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Universidad Politécnica de Valencia. 2012.
- [Brown et al., 1993] Brown P.F., Della Pietra V.J., Della Pietra S.A., Mercer R.L. The Mathematics of Statistical Machine Translation: Parameter Estimation. Computational Linguistics. 1993. 19(2). – <http://www.aclweb.org/anthology/J93-2003>.
- [Danilova, 2013] Danilova V. Cross-Language Plagiarism Detection Methods // Proceedings of the Student Research Workshop associated with RANLP 2013, Hissar, Bulgaria. 2013.
- [Franco-Salvador et al., 2013] Franco-Salvador M., Gupta P., Rosso P. Cross-Language Plagiarism Detection Using a Multilingual Semantic Network // IECIR 2013. LNCS, 7814.
- [Gabrilovich, Markovitch, 2007] Gabrilovich E., Markovitch Sh. Computing Semantic Relatedness using Wikipediabased Explicit Semantic Analysis // In Proc. of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'07). Morgan Kaufmann Publishers Inc., Hyderabad, India. 2007.
- [McNamee, Mayfield, 2004] McNamee P., Mayfield J. Character N-Gram Tokenization for European Language Text Retrieval // Information Retrieval Proceedings. 2004. 7(1-2).

- [**Muhr et al., 2010**] Muhr M., Kern R., Zechner M., Granitzer M. External and Intrinsic Plagiarism Detection Using a Cross-Lingual Retrieval and Segmentation System // Lab report for PAN at CLEF. 2010.
- [**Navigli, Ponzetto, 2010**] Navigli R., Ponzetto S.P. Babelnet: building a very large multilingual semantic network // In Proc. of the 48th annual meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL '10. Stroudsburg, PA, USA. 2010.
- [**Pinto et al., 2009**] Pinto D., Civera J., Juan A., Rosso P., Barr'on-Cedeño A. A Statistical Approach to Crosslingual Natural Language Tasks // Journal of Algorithms. 2009. 64(1). – <https://doi.org/10.1016/j.jalgor.2009.02.005>.
- [**Potthast et al., 2011**] Potthast M., Barr'on-Cedeño A., Stein B., Rosso P. Cross-Language Plagiarism Detection // Language Resources and Evaluation. 2011. 45(1). – <https://doi.org/10.1007/s10579-009-9114-z>.
- [**Potthast et al., 2014**] Potthast M., Hagen M., Beyer A., Busse M., Tippmann M., Rosso P., Stein B. Overview of the 6th International Competition on Plagiarism Detection. In PAN at CLEF 2014. Sheffield, UK. 2014.
- [**Steinberger, 2012**] Steinberger R. Cross-lingual similarity calculation for plagiarism detection and more – Tools and resources. Keynotes for PAN 2012: Uncovering, Authorship, ad Social Software Misuse. 2012.
- [**Talvensaari, 2008**] Talvensaari T. Comparable Corpora in Cross-Language Information Retrieval (Academic Dissertation). Acta Electronica Universitatis Tamperensis 779. 2008.



УДК 004.912

## МОДЕЛИ СЕМАНТИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ В НАУЧНЫХ СТАТЬЯХ<sup>1</sup>

О.А. Невзорова (*onevzoro@gmail.com*)

Академия наук РТ,

Казанский федеральный университет, Казань

А.В. Кириллович (*alik.kirillovich@gmail.com*)

Казанский федеральный университет, Казань

В.Н. Невзоров (*nevzorovvn@gmail.com*)

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева, Казань

К.С. Николаев (*konnikolaeff@yandex.ru*)

Казанский федеральный университет, Казань

Описаны результаты семантического аннотирования и семантического поиска в математической коллекции, а также новые решения по улучшению семантического поиска, связанные с построением семантических моделей контекстов математической формулы. Построенные решения базируются на применении ранее разработанной онтологии профессиональной математики OntoMathPro и позволяют обогатить онтологию новыми связями понятий, извлеченными из семантического контекста математической формулы.

**Ключевые слова:** онтология, математическая статья, семантическое аннотирование, семантический поиск

### Введение

В области профессиональной математики накоплен значительный опыт обработки и использования электронного математического контента в проектах создания математических электронных библиотек. Математические

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, проект 1.2368.2017/ПЧ.

тексты выгодно отличаются наличием стандартов и языков разметки, высокой структурированностью, наличием электронных математических библиотек с развитыми поисковыми сервисами, а также программных средств для автоматической обработки отдельных компонентов математических текстов. Достаточно широко представлены работы, связанные с формализацией уровня представлений математических статей. Для этих целей разработаны специализированные формальные языки представления математических текстов, а также программные средства конвертации языков ([Elizarov, 2010; Kohlhase, 2006; Kohlhase, 2016]). Семантическая публикация статей предполагает увеличение числа вычислительных компонентов текста, т.е. компонентов определенной семантики, извлеченных из текста, для последующей обработки. Математический поиск также активно развивающееся направление исследований. Известны специализированные математические поисковые системы, например, (uni)quation (<http://uniquation.com/en/>), Springer LaTeX Search (<http://latexsearch.com/>), Wolfram Formula Search (<http://functions.wolfram.com/>).

Разработанные мировым сообществом математические проекты подготовили почву для реализации новой идеи – создания Всемирной цифровой математической библиотеки (World Digital Mathematical Library – WDML) [Pitman, 2014]. Основные задачи построения WDML и технологии, необходимые для их решения, обсуждены в 2014–2015 гг. широким кругом математиков и закреплены в ряде документов, принятых Всемирным математическим союзом. В частности, предложено, что следующим шагом в развитии проекта WDML будет выход за пределы традиционных математических публикаций и построение сети информации, основанной на знаниях, содержащихся в этих публикациях. Проект WDML ориентирован на объектную систему организации и хранения математического знания. В отличие от традиционных электронных математических библиотек, в которых единицей хранения в базе данных является электронный документ, предлагается представлять математическое знание коллекции документов в виде специальным образом организованного хранилища математических объектов.

Стандартными классами математических объектов являются теоремы, аксиомы, доказательства, математические определения и т.п. Важными элементами объектной модели являются семантические связи (отношения) между элементами. Для представления объектной модели документа предлагается использовать современные технологии семантического веба. Такой способ представления математического знания позволит создать инструменты управления непосредственно объектами математического знания (средства агрегации, семантического поиска, поиска по формулам и идентификации тождественных объектов).

В статье рассмотрены некоторые решения задачи семантического поиска по формулам, учитывающие семантический контекст математической

формулы. В разделе 1 статьи рассматриваются базовые решения задач семантического аннотирования математического текста и семантического поиска по формулам. В разделе 2 обсуждаются улучшения базового решения, связанные с учетом моделей семантического контекста математической формулы. В заключении обсуждаются полученные результаты и дальнейшие шаги улучшения результатов семантического поиска.

## 1. Семантическое аннотирование текста и поиск по формулам

Разработанная модель семантического аннотирования математических текстов базируется на онтологии профессиональной математики *OntoMathPro* [Nevzorova, 2014], которая описана на языках *OWL-DL/RDFS* и содержит в текущей версии 3450 классов, 6 типов свойств объектов, 3630 экземпляров свойства *IS-A* и 1140 экземпляров остальных свойств. Объектами семантического аннотирования также являются формулы и связанные с формулами фрагменты текста, задающие описания переменных формул.

### 1.1. Семантическое аннотирование математического текста

Семантическое аннотирование математических текстов выполняется системой “*OntoIntegrator*” [Nevzorova, 2011], которая относится к классу онтолого-лингвистических систем. При аннотировании последовательно решаются следующие лингвистические задачи: токенизация, сегментация предложений, морфологический анализ, выделение именных групп.

Аннотирование выполняется для математических документов в формате *XML*, тег *<Math>* размечает математические выражения. Математические выражения могут включаться в состав именной группы, а также использоваться как префиксы в конструкциях с дефисом. На этапе токенизации конструкции с тегом *<Math>* рассматриваются как самостоятельные объекты. В математическом тексте выделяются именные группы (*NP*) четырех типов, к которым применяются теги *TERM1–TERM4* (табл. 1).

Построение именных групп описывается правилами, которые учитывают внутреннюю структуру именной группы. Метод выделения именных групп в тексте работает в границах предложения. При аннотировании именной группы выделяются границы слова-вершины (атрибуты *HeadBegin* и *HeadEnd*), проводится нормализация грамматической формы (приведение к каноническому виду), нормальная форма *NP* выводится в атрибуте *Form*. Аннотированные именные группы используются на последующих этапах обработки математических текстов – при обработке расширенных формульных контекстов.

Среди всех именных групп, извлекаемых из текстов на основе синтаксических моделей, отбираются именные группы, содержащие онтологические понятия из онтологии *OntoMathPro*. Такие именные группы будут обозначать как *NP(O<sub>i</sub>)* и *PP(O<sub>i</sub>)*, где *O<sub>i</sub>* – элемент из онтологии.

Табл. 1.

Тег	Именная группа	Пример разметки
TERM1	Вершина NP без предлогов, не содержит формул	<TERM1 Form="теорема" HeadBegin="1" HeadEnd="7">Теоремы существования</TERM1>
TERM2	Вершина NP без предлогов, с включенной формулой	<TERM2 Form="блок" HeadBegin="1" HeadEnd="4"> блок размерности <Math mode="inline" tex="k" xml:id="S2.p6.m12" text="k"> <XMath> <XMTok role="UNKNOWN" font="italic">k</XMTok> </XMath> </Math> </TERM2>
TERM3	Предложно-падежная NP без формулы	<TERM3 Form="ядро" HeadBegin="3" HeadEnd="7">с ядром оператора системы</TERM3>
TERM4	Предложно-падежная NP с включенной формулой	<TERM4 Form="область" HeadBegin="13" HeadEnd="19"> в замкнутой области <Math mode="inline" tex="U" xml:id="S2.Thmtheorems1.p1.m4" text="U"> <XMath> <XMTok role="UNKNOWN">U</XMTok> </XMath> </Math> </TERM4>

Распределение именных групп по вышеуказанным типам в экспериментальной коллекции из 40 математических статей представлено на рис. 1. Всего выделено в коллекции 11865 именных групп.

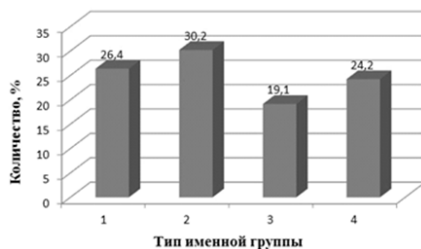


Рис. 1. Распределение именных групп по типам в математическом тексте

## 1.2. Семантический поиск по формулам

Семантический поиск по формулам реализуется с помощью разработанного нами поискового сервиса OntoMath Formula Search (<https://lobachevskii-dml.ru/mathsearch>), который работает с семантическим представлением математических публикаций в наборе связанных данных (Linked Open Data, LOD) и базируется на онтологии OntoMathPro (рис. 2).

Finding Concepts in Mathematical Formulas alpha

Open set Get Instances!

Examples: Angle, Ring, Graph, Open set, Prime number, Gamma function, Space

Axiom (0)  
  Claim (0)  
  Conjecture (0)  
  Corollary (0)  
  Definition (0)  
  Equation (0)  
  Example (0)

Lemma (0)  
  Proof (1)  
  Proposition (0)  
  Remark (0)  
  Theorem (1)  
  Other (15)

*Open set* concept instances (23):

Notation	Formula	Context	
$G$	$\forall x \in G$	Corollary	<a href="#">Details...</a>
$U$	$f \in C^0(U, \mathbb{R})$	Proof	<a href="#">Details...</a>
$G$	$B^\infty(G)$	Other	<a href="#">Details...</a>
$G$	$B^\infty(G) = BC^\infty(G)$	Other	<a href="#">Details...</a>
$G$	$BC^\infty(G)$	Other	<a href="#">Details...</a>
$G$	$\forall x \in G$	Other	<a href="#">Details...</a>

Рис. 2. Окно результатов поискового сервиса OntoMath Formula Search

Поисковый сервис позволяет находить математические формулы, содержащие заданное математическое понятие вне зависимости от его символического обозначения в формулах. Если требуется найти формулу, в записи которой содержится обозначение какого-либо математического объекта (например, *площадь треугольника*), то сервис выведет все формулы, содержащие различные символические обозначения этого объекта. Благодаря использованию логического вывода по онтологии, сервис находит формулы, содержащие не только заданное понятие, но и подклассы этого класса в иерархии онтологии. Например, при поиске формул по заданному текстовому параметру, относящихся к многоугольнику, будут найдены, в том числе, и формулы, имеющие отношение к другим объектам в иерархии (треугольник, параллелограмм, трапеция и др.).

Связывание текстового описания переменной и формулы проводится по алгоритму, который учитывает взаимные позиции формулы и именной группы. Если в составе NP имеется формула, то текстовая часть NP задает связь с формулой. Если NP не содержит формулу, то связывание осуществляется с ближайшей несвязанной формулой класса F1 (см. ниже).

Указанный функционал отличает сервис OntoMath Formula Search от известных поисковых сервисов, таких как (uni)quation, Springer LaTeX Search, Wikipedia Formula Search, Wolfram Formula Search. Данные сервисы имеют большие возможности, в том числе, устойчивость к переименованию переменных и к преобразованию выражений. Но в своей основе они являются синтаксическими и выполняют поиск формулы по заданному формальному фрагменту.

## 2. Улучшение поиска на основе моделей семантического контекста формулы

Анализ семантического контекста формулы направлен на улучшение результатов поиска, прежде всего в задаче поиска формулы по текстовому описанию переменных формулы. Для решения поставленной задачи были предложены следующие модели семантического контекста формулы.

**Модель структурной классификации формул.** Все математические формулы разбиваются на два класса: класс основных формул F1 и класс вспомогательных формул F2. В дальнейшем, алгоритмы обработки будут разбирать только формулы класса F1, формулы типа F2 не будут отображаться в выдаче, но будут учитываться во внутренней статистике системы. К классу F1 относятся математические формулы длиннее 10 символов и включающие в себя основные математические операторы, а также бинарные операторы равенства и неравенства.

**Расширенный синтаксический контекст описания переменной формулы,** позволяющий учесть сочетаемость (группировку) введенных выше типов именных групп. Были изучены различные варианты комбинации именных групп. Наиболее информативной является конструкция вида  $NP_1(O_1) + PP_2(O_2)$ , которая позволяет формировать гипотезу о наличии связи между двумя классами онтологии и установление последующей связи между именными группами.

Если найдены NP и PP в окрестности формулы из класса F1, которые следуют непосредственно друг за другом и содержат в своем составе онтологические концепты, т.е. удовлетворяют шаблону  $NP_{12}(O_1, O_2) = NP_1(O_1) + PP_2(O_2)$ , где  $O_1, O_2$  – классы онтологии OntoMathPro, то выделяется составная именная группа  $NP_{12}$ . Сравнение текстовых строк выполняется с использованием меры Жаккара (пороговое значение для оценки близости строк было равно 0,7).

В дальнейшем выделенные пары концептов  $O_1$  и  $O_2$  будут переданы для экспертного анализа с целью подтверждения существования значимой связи между этими концептами. Ниже приведены примеры найденных пар по модели NP + PP, связанных с онтологическими концептами (табл. 2).

Табл. 2.

$NP_1(O_1)$	$PP_2(O_2)$
пространство линейных операторов $L: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$	с нормой $ L  \doteq \max  x  \leq 1  Lx $
пространство Марцинкевича $M_q(I^d)$	с нормой $\ f\ _{q,\infty} = \sup_{t \in (0,1]} t^{\frac{1}{q}-1} \int_0^t f^\infty(\tau) d\tau$ $\ f\ _{q,\infty} = \sup_{t \in (0,1]} t^{\frac{1}{q}-1} \int_0^t f^*(\tau) d\tau$

Выделены частотные модели контекстов с фиксированной семантикой (например, контексты определения математического понятия или описания формулы), а также частотные контексты со служебными словами (например, *вид*), для которых разработаны алгоритмы трансформации и связывания с формулами.

Для всех выделенных выше моделей семантического контекста формулы проведены эксперименты, в которых получены оценки точности алгоритмов классификации контекстов и связывания формул. Метод построения расширенного контекста формулы на основе группировки именных групп позволяет выделить группы семантически связанных концептов, что, в свою очередь, может быть использовано для введения новых отношений в базовой онтологии. Примеры семантически связанных именных групп с оценкой близости сравниваемых строк по мере Жаккара даны в табл. 3, где  $K_1, K_2$  – коэффициенты Жаккара, полученные при сравнении пар  $(NP, O_1)$ ,  $(PP, O_2)$ ,  $K$  – среднее значение (оценка строки  $NP + PP$ ).

Табл. 3.

$NP+PP$	$O_1 + O_2$	$K_1$	$K_2$	$K$
Проекция + на касательное пространство	Проекция + касательное пространство	1	1	1
Главное подрасслоение + со структурной группой	Главное расслоение + структурная группа	0,88	0,77	0,83
Векторное произведение + в новом базисе	Векторное произведение + голономный базис	1	0,52	0,76
Гладкая кривая + на многообразии	Интегральная кривая + многообразие	0,5	0,92	0,71
Произвольный вектор + в базисе	Вектор + базис	0,5	0,83	0,67

## Заключение

В статье описаны результаты семантического аннотирования и семантического поиска в математической коллекции, а также новые решения по улучшению семантического поиска, связанные с построением семантических моделей контекстов математической формулы. Эти решения базируются на применении онтологии OntoMathPro и позволяют обогатить онтологию новыми связями понятий.

Выполненные исследования лежат в русле проекта создания Всемирной цифровой математической библиотеки World Digital Mathematical Library, назначение которой – объединить в распределенной системе взаимосвязанных хранилищ оцифрованные версии всего корпуса математической научной литературы.

Разработанные технологии апробированы на цифровых математических коллекциях Казанского федерального университета.

## Список литературы

- [Elizarov, 2010] Elizarov A.M., Lipachev E.K., Malakhaltsev M.A.: Web Technologies for Mathematicians: The Basics of MathML. A Practical Guide. Moscow: Fizmatlit (In Russian). 2010.
- [Kohlhase, 2006] Kohlhase M.: An Open Markup Format for Mathematical Documents (Version 1.2). LNAI 4180. Springer Verlag. 2006. – <http://omdoc.org/pubs/omdoc1.2.pdf>.
- [Kohlhase, 2016] Kohlhase M.: Semantic Markup in TEX/LATEX. – <http://ctan.alt-spu.ru/macros/latex/contrib/stex/sty/stex/stex.pdf>.
- [Pitman, 2014] Pitman J., and Lynch C.: Planning a 21st Century Global Library for Mathematics Research // Notices of the AMS. 2014. Vol. 61. No. 7. – <http://www.ams.org/notices/201407/moti-p776.pdf>.
- [Nevzorova, 2014] Nevzorova O., Zhiltsov N., Kirillovich A., Lipachev E. OntoMathPro ontology: a linked data hub for mathematics // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 468.
- [Nevzorova, 2011] Nevzorova O., Nevzorov V. Terminological annotation of the document in a retrieval context on the basis of technologies of system “OntoIntegrator” // International Journal “Information Technologies & Knowledge”. 2011. Vol. 5. No. 2.



## МНОГОМЕСТНЫЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ В ЗАДАЧЕ РАЗРЕШЕНИЯ КОРЕФЕРЕНЦИИ<sup>1</sup>

Е.А. Сидорова (*lsidorova@iis.nsk.su*),

Н.О. Гаранина (*garanina@iis.nsk.su*),

И.С. Кононенко (*irina\_k@cn.ru*)

Институт систем информатики им. А.П. Ершова  
СО РАН, Новосибирск

Рассматривается логико-онтологический подход к разрешению кореференции при извлечении информации из текста и пополнении онтологии. Сравнение найденных объектов – экземпляров классов онтологии – проводится на основе оценки близости атрибутов и связей объектов. Предлагается онтологическая интерпретация многоместных отношений и меры оценки их семантического сходства. Обсуждается использование информации о многоместных отношениях для разрешения кореференции.

**Ключевые слова:** пополнение онтологии, анализ текста, извлечение информации, разрешение кореференции, референциальные факторы, многоместные отношения

### Введение

Установление референциальных отношений в дискурсе относится к числу наиболее насущных, но сложно поддающихся моделированию проблем автоматического анализа текста. Референция – это отнесение текстовой единицы (языкового выражения) к внеязыковому объекту (референту). Правильная интерпретации высказывания в анализируемом тексте требует установления референта текстового упоминания объекта, т.е. разрешения референции текстового выражения. В данной работе задача разрешения кореференции решается в рамках процесса извлечения информации из текстов для пополнения онтологии. При этом особое значение имеет тесная взаимосвязь процессов извлечения информации и пополнения онтологии в том смысле, что, с одной стороны, онтология используется для представления результатов извлечения

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-07-01600) и Президиума СО РАН (Блок 36.1. Комплексной программы ФНИ СО РАН II.1).

информации, а с другой стороны, знания, представленные в онтологии, помогают решать специфические задачи извлечения информации.

В процессе решения задачи автоматического пополнения онтологии найденная в текстах информация добавляется в онтологическое хранилище. В работе [Garanina et al., 2017] предложен подход к разрешению кореференции между найденными в тексте упоминаниями объектов на основе онтологии предметной области. В данной работе мы рассмотрим многоместные отношения, которые в рамках онтологии служат для описания ситуаций (событий, действий, процессов), т.е. понятий со сложной структурой, что позволит расширить круг учитываемых знаний о предметной области.

## **1. Кореференция в задачах извлечения информации**

В современных направлениях исследований можно выделить несколько аспектов классификации задач, связанных с установлением референциального тождества:

- по средствам представления упоминаний референта в тексте: полные лексические средства (именные группы – имена собственные, дескрипции, дескрипции в сочетании с именами собственными) либо редуцированные средства с использованием анафорических выражений (местоимений, детерминативов-заместителей) или анафорического нуля;
- по типу упоминаемых объектов: референциальное тождество сущностей или ситуаций/событий;
- по области поиска/типу контекста: противопоставляется контекст одного документа и кросс-документный анализ, при котором упоминания одного и того же объекта ищутся в корпусе документов.

Традиционная задача разрешения анафоры и кореференции сущностей в рамках связного текста остается актуальной, ей посвящено множество ранних и современных исследований с применением лингвистических методов, основанных на правилах, и методов машинного обучения. Базовым подходом к решению данной задачи посвящен обзор [Mitkov, 2003] и более поздние [Elango, 2006; Prokofyev et al., 2015]. В последнее время наблюдается рост интереса к решению задачи в более широкой перспективе: рассматриваются не только сущности, но и события/ситуации [Lee et al., 2012; Sybulska et al., 2012; Borgo et al., 2016; Bejan et al., 2012; Araki et al., 2014], привлекается кросс-документный анализ референции, который признан ключевым инструментом пополнения баз знаний и онтологий [Lee et al., 2012; Mayfield et al., 2009; Hladky et al., 2010]. Сложность задачи разрешения кореференции требует интегрального подхода, с привлечением знаний не только о структуре текста (уровень дискурса), но и знаний о предметной области (онтологиче-

ский уровень) – см. статью [Сулейманова и др., 2013], авторы которой сознательно отвлекаются от дискурсивных факторов кореферентности для исследования роли предметных знаний.

Мы рассматриваем задачу извлечения информации как задачу выявления всех упоминаний объектов заданной предметной области (ПО): сущностей, ситуаций, событий, состояний объектов, процессов и т.п. При пополнении онтологии найденные объекты должны быть представлены как экземпляры понятий и отношений онтологии ПО, причем требуется установить референциальные отношения между всеми найденными в процессе анализа текста объектами и экземплярами понятий и отношений информационного контента онтологии (что не исключает возможности добавления в онтологию новых экземпляров).

## 2. Модель извлечения информации

Рассмотрим окружение, в рамках которого разрабатывается наш подход к разрешению кореференции.

### 2.1. Представление онтологии

Онтология моделирует значимую для пользователя часть предметной области и обеспечивает структуризацию информации. Мы используем представление онтологии, принятое в сообществе Semantic Web, и считаем, что *онтология*  $O$  включает: множество *классов*  $C_O$ , описывающих понятия предметной области, множество *областей данных*  $D_O$  (или типов данных), и множество *атрибутов*  $Atr_O = Dat_O \cup Rel_O$ , где  $Dat_O$  – атрибуты простых типов данных, а  $Rel_O$  – *объектные атрибуты*, значениями которых являются экземпляры классов из  $C_O$ .

Каждый класс  $c \in C_O$  определяется множеством атрибутов:  $c = (Dat_c, Rel_c)$ , где каждому атрибуту простого типа  $a \in Dat_c \subseteq Dat_O$  сопоставлен домен  $d_a \in D_O$  со значениями из множества возможных значений  $V_{d_a}$ , и каждый объектный атрибут  $\rho \in Rel_c \subseteq Rel_O$  принимает значения из множества экземпляров классов  $C_\rho \subseteq C_O$ . Множество всех атрибутов класса  $c$  обозначим как  $Atr_c = Dat_c \cup Rel_c$ . Мы рассматриваем онтологии без синонимов классов и атрибутов-данных, т.е.  $\forall a_1, a_2 \in Dat_O: d_{a_1} \neq d_{a_2}$  и  $\forall c_1, c_2 \in C_O: Atr_{c_1} \neq Atr_{c_2}$ . Важнейшим свойством онтологии является возможность определять наследование на классах: класс  $c_2$  *наследует* классу  $c_1$  ( $c_1 < c_2$ ), если и только если  $\forall a \in c_2: a \in c_1$ .

Для атрибута  $\gamma$  обозначим его класс как  $c^\gamma$  и множество его значений как  $D^\gamma$ . Среди атрибутов класса мы выделяем непустое множество *ключевых* атрибутов  $Atr_c^K$ , которые обеспечивают идентифицируемость (однозначность определения) экземпляров класса. Ключевые атрибуты могут быть как атрибутами простого типа, так и объектными атрибутами.

Набор  $a = (c_a, Dat_a, Rel_a)$  является экземпляром класса  $c_a = (Dat_{ca}, Rel_{ca})$  ( $a \in c_a$ ), если и только если каждый атрибут простого типа в  $Dat_a$  имеет имя  $\alpha_a \in Dat_{ca}$  со значениями  $V_{\alpha a}$  из  $V_{daa}$ , и каждый атрибут-отношение в  $Rel_a$  имеет имя  $\rho_a \in Rel_{ca}$  со значениями  $V_{\rho a}$  в качестве экземпляров классов из  $C_{\rho}$ . Информационный контент  $IC_O$  онтологии  $O$  является множеством экземпляров классов онтологии. Задача пополнения онтологий состоит в вычислении информационного контента онтологии из входных данных.

## 2.2. Многместные отношения

Понятие многместного отношения отсутствует в классическом понимании онтологии. Так, например, в стандартном языке описания онтологии OWL отсутствуют конструкции, позволяющие явным образом выделять многместные отношения в общем виде, доступны лишь бинарные отношения (Object Property). С другой стороны, многместные отношения востребованы в задачах извлечения информации из текстов, поскольку с их помощью естественным образом описывается пропозициональное содержание высказывания, представляющее внеязыковую ситуацию (событие, действие, процесс).

Для решения наших задач мы будем моделировать *многместные отношения* (далее просто отношения) классами онтологии, с определенными ограничениями на состав атрибутов. Во-первых, классы отношений должны содержать не менее двух объектных атрибутов, во-вторых, все объектные атрибуты отношения должны быть ключевыми.

Приведем примеры извлекаемых из текста многместных отношений:

*Комплекс<sup>Y</sup> получает команды<sup>Z</sup> от оператора<sup>X</sup>.*

s1: Действие (тип: передача информации, Источник: X, Реципиент: Y, Сообщение: Z, Содержание: null).

*Двухсегментный конвейер<sup>X</sup> служит для транспортировки бутылок<sup>Y</sup>.*

s2: Процесс (тип: перемещение, Агенс: X, Пациенс\_перемещения: Y, Нач\_точка: null, Кон\_точка: null, Траектория: null).

Данные примеры относятся к предметной области автоматизированных систем управления, которая содержит такие классы отношений, как *Действие*, *Процесс*, *Функция*, *Сообщение* и т.п.

## 2.3. Информационный контент текста

Определим множество  $A$  информационно-текстовых объектов (*i-объектов*) извлеченных из входных данных и соответствующих экземплярам классов онтологии. Каждый информационный объект  $a \in A$  имеет вид  $(c_a, Dat_a, Rel_a, G_a, P_a)$ , где  $c_a \in C_O$  – класс онтологии;  $Dat_a$  – множество атрибутов данных  $\alpha_a = (\alpha, V_{\alpha a})$ , где  $\alpha \in Dat_{ca}$  – имя атрибута, а  $V_{\alpha a}$  – множество значений  $v \in d_a$ ;  $Rel_a$  – множество объектных атрибутов  $\rho_a = (\rho, V_{\rho a})$ , где  $\rho \in Rel_{ca}$  – имя атрибута, а  $V_{\rho a}$  – множество *i-объектов* класса  $c_{\rho a} \in C_{\rho a}$ ;  $G_a$  – грамма-

тические характеристики, формируемые по грамматическим характеристикам лексических объектов, на основе которых был получен данный  $i$ -объект;  $P_a$  – структурно-текстовая информация (множество позиций в тексте и формальных сегментов).

Атрибут  $\gamma$   $i$ -объекта  $a$  называется *заполненным*, если  $V_{\gamma a} \neq \emptyset$ . Обозначим множество всех атрибутов  $i$ -объекта  $a$  как  $Atr_a = Dat_a \cup Rel_a$ . Каждый  $i$ -объект естественным образом соответствует некоторому экземпляру онтологии: если  $a = (c_a, Dat_a, Rel_a, G_a, P_a)$  –  $i$ -объект, то соответствующий экземпляр онтологии – это  $a' = (c_a, Dat_{a'}, Rel_{a'})$ , и при этом каждый атрибут  $\alpha \in Dat_{a'}$  имеет значения в  $V_{\alpha a}$ , а каждый  $\rho \in Rel_{a'}$  имеет значения в  $V_{\rho a}$ .

Мы считаем два  $i$ -объекта  $a$  и  $b$  *потенциально кореферентными*  $a \approx b$  (являющимися кандидатами в кореференты), если их классы транзитивно связаны отношением наследования и множество значений всех заполненных ключевых атрибутов одного  $i$ -объекта содержится во множестве значений соответствующих ключевых атрибутов другого  $i$ -объекта. *Задача разрешения кореференции* заключается в определении, соответствуют ли данные  $i$ -объекты (кандидаты в кореференты) одному и тому же экземпляру онтологии.

### 3. Референциальные факторы

В предыдущих работах [Garanina et al., 2018] нами были рассмотрены два типа факторов, которые влияют на оценку степени или меры референциальной близости двух объектов: дискурсивные факторы (локальные текстовые и контекстные) определяются способом выражения объектов в тексте, их расположением относительно структуры текста и относительно друг друга; семантические факторы определяют оценки похожести объектов по их онтологической структуре и связям.

В рамках данной работы можно выделить еще один тип факторов – *лого-онтологический*, который позволяет рассматривать совокупность отношений между объектами. Рассмотрение таких факторов опирается на свойства отношений, заданных в онтологии.

Факторы используются для того, чтобы оценить близость или схожесть объектов, упоминания о которых найдено в тексте. Для каждого фактора формулируется оценка расстояния  $cs_f(a, b)$ , которая отражает степень или вероятность наличия кореферентной связи между  $i$ -объектами  $a$  и  $b$  в зависимости от фактора  $f$  без учета других факторов.

#### 3.1. Определение кореференциального конфликта

Определим кореференциальный конфликт как ситуацию, в которой два некорреферентных  $i$ -объекта являются потенциальными кореферентами для некоторого  $i$ -объекта. Для определения того, какие именно из этих  $i$ -объектов являются истинными кореферентами, мы используем *меру сходства*

*i-объектов.* Для *i-объектов*  $a$  и  $b$  обозначим эту меру как  $cs(a, b)$ . Если некореферентные *i-объекты*  $a$  и  $b$  являются кандидатами в кореференты для *i-объекта*  $c$ , то мы считаем, что *кореференциальный конфликт решен в пользу объекта*  $a$  если и только если  $cs(a, c) > cs(b, c)$ .

В [Garanina et al., 2017] рассмотрена типология онтологических свойств, на основе которых вычисляются разные меры сходства *i-объектов*, рассмотрены такие свойства как наследование классов и атрибутов данных, симметрия, транзитивность и т.п. Далее мы дополним эту типологию свойствами, выявленными для многоместных отношений.

### 3.2. Фактор отношений

Когда мы говорим о многоместных отношениях как об одном из факторов для оценки близости *i-объектов*, то подразумеваем, что при сравнении будут использоваться отношения, в состав которых они входят. С этой целью рассматриваются пары отношений, в составе которых есть схожие значения (помимо самих сравниваемых объектов).

Пример. (*Датчик*<sup>X1</sup> *передает сообщение*<sup>Z</sup> *конвейеру*<sup>Y</sup>)<sup>S1</sup> о (*достижении бутылкой определенного положения*)<sup>Z</sup>. Таким образом, (*он*<sup>X2</sup> *контролирует работу конвейера*<sup>Y</sup>)<sup>S2</sup>.

В данном примере отношения представлены экземплярами:

*S1: Передача информации (Источник: X1, Адресат: Y, Содержание: Z);*

*S2: Управление (Контролер: X2, Пациент: Y).*

На основе данных отношений можно сравнивать экземпляры *X1* и *X2*, поскольку *S1* и *S2* наряду с данными объектами имеют схожее значение *Y*.

**3.2.1. Онтологические свойства на основе многоместных отношений.** Рассмотрим формальные онтологические свойства, которые можно извлечь из совокупности экземпляров отношений.

Поскольку речь идет об отношениях, будет естественно заимствовать некоторые понятия реляционной алгебры для описания свойств объектных атрибутов, необходимых для задания мер сходства, учитывающих многоместные отношения.

Обозначим множество всех многоместных отношений как  $S_O$ .

**Определение 1.** Пусть  $\rho, \rho', \rho'' \in Rel_O$ .

- 1) Атрибуты  $\rho, \rho'$  находятся в отношении *проекции*  $\rho = \pi \rho'$ , если и только если  $C_\rho, C_{\rho'} \subseteq S_O$  и  $\forall a \in c \in C_\rho \exists A \subseteq Atr_a, a' \in C_{\rho'}, A' \subseteq Atr_{a'}: \pi_A(a) = \pi_{A'}(a')$ , и наоборот,  $\forall a' \in c' \in C_{\rho'} \exists A' \subseteq Atr_{a'}, a \in C_\rho, A \subseteq tr_a: \pi_A(a') = \pi_A(a)$ , т.е. значениями атрибутов, находящихся в отношении проекции, являются экземпляры отношений, содержащие значения схожие с точностью до референции.
- 2) Атрибуты  $\rho, \rho'$  и  $\rho''$  находятся в отношении *естественного соединения*  $\rho = \rho' \bowtie \rho''$ , если и только если  $C_\rho, C_{\rho'}, C_{\rho''} \subseteq S_O$  и  $\forall a' \in c' \in C_{\rho'}, \exists a$

$\in c \in C_\rho, A \subseteq Atr_a: \pi_{Atr_a}(a') = \pi_A(a), \forall a'' \in c'' \in C_{\rho''} \exists a \in c \in C_\rho, A \subseteq Atr_a: \pi_{Atr_a}(a'') = \pi_A(a)$ , и  $\forall a \in c \in C_\rho, b \in Atr_a: (\exists a' \in c' \in C_{\rho'}, b' \in Atr_{a'}: b = b') \vee (\exists a'' \in c'' \in C_{\rho''}, b'' \in Atr_{a'':} b = b'')$ , т.е. экземпляры, являющиеся значениями объектных атрибутов  $\rho'$  и  $\rho''$ , представляют собой дополняющие друг друга взгляды (проекции) на экземпляры-значения атрибута  $\rho$ .

Таким образом, проекция описывает подмножество общих элементов экземпляров отношений. Так, в примере проекцией экземпляров отношений  $S1$  и  $S2$  будет подмножество  $\{Y, X1, X2\}$ . А соединение позволяет при сравнении пары экземпляров отношений учитывать наличие другого отношения, которое включает объединение атрибутов этих отношений (всех или подмножеств атрибутов), большее чем их проекция. Т.е. наличие такого третьего отношения является своего рода подтверждением информации, содержащейся в первых двух.

**3.2.2. Сходство на основе многоместных отношений.** Для тех случаев, когда наличие указанных в Определении 1 свойств атрибутов не следует из их онтологического описания, необходимо проверить условия их существования. Следующее предложение формулирует эти условия в случае отношений. Обозначим необходимые условия свойства  $x$  как  $\mathcal{N}^x$ .

**Предложение 1.** Пусть  $\rho, \rho', \rho'' \in Rel_O$ .

$$\rho =_{\pi} \rho' \Rightarrow \mathcal{N}^{\rho} = (C_\rho \cap C_{\rho'} \neq \emptyset); \text{ б) } \rho = \rho' \bowtie \rho'' \Rightarrow \mathcal{N}^{\rho} = (C_\rho \cup C_{\rho''} \subseteq C_{\rho'})$$

Верхний индекс  $i$  в операциях над множествами классов означает, что при вычислении результата учитываются не только сами классы, но и их наследники и предки.

Пусть  $a, b \in A, \gamma_a \in Atr_a, \delta_b \in Atr_b$ , и  $a \approx b$ . Мера семантического сходства определена нормализованной суммой всех мощностей сходства атрибутов:

$$S(a, b) = |Sim(a, b)|^{-1} \sum_{(\gamma_a, \delta_b) \in Sim(a, b)} sim(\gamma_a, \delta_b), \text{ где } Sim(a, b) = \{(\gamma_a, \delta_b) \mid sim(\gamma_a, \delta_b) \neq 0\}$$

является набором сходных атрибутов с ненулевой мощностью сходства  $sim(\gamma_a, \delta_b)$ .

**Определение 2.** Мы считаем, что для  $i$ -объектов  $a$  и  $b$  атрибуты-отношения  $\rho \in Rel_a$  и  $\xi \in Rel_b$  при  $\rho, \xi \in S_O$

- *проекционно схожи*  $\rho \sim_{\pi} \xi$ , если  $\rho =_{\pi} \xi \vee \mathcal{N}^{\rho}$  и  $S^{\rho} = \cup_{x \in V_{\rho a}} \{X \subseteq Atr_x \mid \exists y \in V_{\xi b}, Y \subseteq Atr_y: \pi_X(x) = {}^r \pi_Y(y)\} \neq \emptyset$ . При этом мощность проекционного сходства  $sim^{\pi}(\rho, \xi) = 1/2 |S^{\rho}| (c(V_{\rho a})^{-1} + c(V_{\xi b})^{-1})$ , где  $cS(V_{\mu}) = \sum_{z \in V_{\mu}} \sum_{\gamma \in Atr_z} |V_{\gamma}|$ ;
- *соединительно схожи*  $\rho \sim_{\bowtie} \xi$ , если  $\exists \mu: \mu = \rho \bowtie \xi \vee \mathcal{N}^{\mu}$  и  $S^{\mu} = \{(x, y) \mid x \in V_{\rho a}, y \in V_{\xi b}, \exists z \in C^{\mu}, Z_x \subseteq Atr_z, Z_y \subseteq Atr_z: Atr_z \subseteq Z_x \cup Z_y, \pi_{Atr_x}(x) = {}^r \pi_{Z_x}(z) \text{ и } \pi_{Atr_y}(y) = {}^r \pi_{Z_x}(z)\} \neq \emptyset$ . При этом мощность соединительного сходства  $sim^{\bowtie}(\rho, \xi) = 1/2 |S^{\mu}| ((|V_{\rho a}|)^{-1} + (|V_{\xi b}|)^{-1})$ .

Верхний индекс  $r$  в операциях сравнения и вычисления мощностей множеств означает, что кроме элементов самого множества рассматриваются также их кандидаты в кореференты.

Таким образом, мы можем учитывать мощность  $sim^r$  и  $sim^\infty$  проекционного и соединительного сходства в семантической мере сходства наряду с прочими факторами, что позволяет точнее учитывать контекст, тем самым улучшая качество извлечения информации.

## Заключение

Предложенный в статье подход к разрешению кореференции обладает следующими особенностями:

- отвлеченность от дискурсивных факторов и упор на предметные знания, в первую очередь, – на онтологию предметной области, относительно которой решаются задачи извлечения информации, снятия неоднозначности и разрешения кореференции;
- масштабируемость решения, подход расширяем относительно правил извлечения информации и референциальных факторов;
- независимость (автономность), подход ориентирован на полностью автоматическую обработку и не требует на входе «правильных» результатов морфологического анализа, отсутствия грамматических ошибок и полного синтаксического разбора предложений;
- интеграция вычислительных и лингвистических моделей и методов анализа текста на этапе семантической обработки. Так, для разрешения кореференции устанавливаются взвешенные кореферентные связи между объектами, при этом гипотезы (связи) формируются на основе лингвистической модели, а разрешение (выбор наилучшей гипотезы) – на основе статистических данных.

Данный подход апробируется на текстах технических заданий из предметной области автоматизированных систем управления. В рамках исследования проводится разметка корпуса и выявление случаев, когда для корректного установления кореференции может использоваться онтологическая информация о многоместных отношениях. Планируется провести полную типизацию такого рода ситуаций и выявить степень значимости рассматриваемых онтологических свойств для оценки близости потенциальных кореферентов.



## Список литературы

- [Сулейманова и др., 2013] Сулейманова Е.А., Трофимов И.В. О подходе к отождествлению сущностей в рамках задачи извлечения информации из текстов // Программные системы: теория и приложения, 2013, № 1(15).
- [Araki et al., 2014] Araki J., Liu Z., Hovy E., Mitamura T. Detecting Subevent Structure for Event Coreference Resolution // Proc. of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC-2014). 2014.
- [Borgo et al., 2016] Borgo S., Bozzato L., Aprosio A.P., Rospocher M., Serafini L. On Coreferring Text-extracted Event Descriptions with the aid of Ontological Reasoning // Technical Report. 2016. – <https://arxiv.org/pdf/1612.00227.pdf>.
- [Bejan et al., 2012] Bejan C.A., Harabagiu S. Unsupervised event coreference resolution with rich linguistic features // Proc. of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2010. – <http://www.aclweb.org/anthology/P10-1143>.
- [Cybulska et al., 2012] Agata Cybulska, Piek Vossen “Bag of Events” Approach to Event Coreference Resolution. Supervised Classification of Event Templates // International Journal of Computational Linguistics and Applications. 2015. Vol. 6. No. 2.
- [Elango, 2006] Elango P. Coreference Resolution: A Survey // Technical Report. UW-Madison. 2006. – [https://ccc.inaoep.mx/~villasen/index\\_archivos/cursoTATII/EntidadesNombradas/Elango-SurveyCoreferenceResolution.pdf](https://ccc.inaoep.mx/~villasen/index_archivos/cursoTATII/EntidadesNombradas/Elango-SurveyCoreferenceResolution.pdf).
- [Garanina et al., 2017] Garanina N., Sidorova E., Kononenko I., Gorlatch S. Using Multiple Semantic Measures For Coreference Resolution In Ontology Population // International Journal of Computing. 2017. Vol. 16. Iss. 3.
- [Garanina et al., 2018] Garanina N.O., Sidorova E.A. and Seryi A.S. Multiagent Approach to Coreference Resolution Based on the Multifactor Similarity in Ontology Population // Programming and Computer Software. 2018. Vol. 44. No. 1.
- [Hladky et al., 2010] Hladky D., Ehrlich C., Efimenko I., Vorobyov V. Discover Shadow Groups from the Dark Web // Web Intelligence and Security: Advances in Data and Text Mining Techniques for Detecting and Preventing Terrorist Activities on the Web. 2010.
- [Lee et al., 2012] Lee H., Recasens M., Chang A., Surdeanu M., Jurafsky D. Joint Entity and Event Coreference Resolution across Documents // EMNLP-CoNLL'12 Proceedings of the Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language. 2012.
- [Mayfield et al., 2009] Mayfield J. et al. Cross-Document Coreference Resolution: A Key Technology for Learning by Reading Association for the Advancement of Artificial Intelligence // AAAI Spring Symposium: Learning by Reading and Learning to Read. 2009.
- [Mitkov, 2003] Mitkov R. Anaphora resolution. Mitkov R. (ed.) The Oxford handbook of computational linguistics, ch.14, N.Y.: Oxford university press. 2003.
- [Prokofyev et al., 2015] Prokofyev R., Tonon A., Luggen M., Vouilloz L., Difallah D.E., Cudr'e-Mauroux P. SANAPHOR: Ontology-Based Coreference Resolution // In Lecture Notes in Computer Science, Volume 9366, 14th International Semantic Web Conference, Proceedings. 2015. Part I.

УДК 004.82

## ГЕНЕРАЦИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ GATE ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОНТОЛОГИЙ

В.Ф. Хорошевский (*V.Khor@mail.ru*)

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» РАН, Москва

А.С. Булгаков (*klin11111@yandex.ru*)

А.В. Демин (*demand@yandex.ru*)

ООО «Семантик Хаб», Москва

В работе рассматриваются вопросы онтологического моделирования лингвистических процессоров, проектируемых с использованием платформы GATE (General Architecture for Text Engineering), и методы генерации спроектированных лингвистических процессоров под управлением разработанных онтологических моделей. Приводятся результаты использования разработанных онтологических моделей для генерации лингвистических процессоров в реальных прикладных задачах.

**Ключевые слова:** лингвистический процессор, онтологическая модель, платформа GATE, генерация под управлением онтологий

### Введение

Создание лингвистических процессоров является одной из наукоемких и трудоемких задач, решение которой находится в фокусе работ по проектированию прикладных интеллектуальных систем. При этом в настоящее время исследования и разработки в данной области все больше смещаются в сторону автоматизации проектирования программного обеспечения (ПО) систем извлечения информации (систем ИЕ) из текстов на различных естественных языках для разных предметных областей. Такая постановка задачи предполагает наличие адекватных моделей всего жизненного цикла проектирования ИЕ-систем, включая технологии их разработки и реализации, модели архитектуры и программных компонент, а также модели предметных областей и соответствующие модели генерации ПО.

В настоящей работе обсуждаются вопросы онтологического моделирования всего жизненного цикла создания лингвистических процессоров, проектируемых с использованием платформы GATE (General Architecture for Text Engineering), и методы генерации спроектированных лингвистических процессоров под управлением разработанных онтологических моделей. Приводятся результаты использования разработанных онтологических моделей для генерации лингвистических процессоров в реальных прикладных задачах.

Организовано изложение следующим образом. В первом разделе приводится краткий обзор существующих технологий проектирования ПО. Здесь же представлено аннотационное описание платформы GATE и предлагается для создания всех моделей жизненного цикла создания систем ИЕ использовать методы и средства онтологического инжиниринга. Далее, во втором разделе, обсуждаются вопросы проектирования системы онтологических моделей, необходимых для поддержки всего жизненного цикла создания систем ИЕ на платформе GATE и процессы генерации лингвистических процессоров под управлением разработанных онтологических моделей. Приводятся результаты проектирования системы извлечения информации из социальных сетей, где обсуждаются новые препараты для лечения онкологических заболеваний. В заключении фиксируются полученные результаты и направления дальнейших исследований.

## **1. Модели и методы автоматизации проектирования ПО**

### **1.1. Технологии процессов проектирования ПО**

К настоящему времени в области технологии программирования уже разработаны и активно используются на практике различные модели процессов проектирования ПО [Boehm, 1986; Rational, 1998; Бек, 2003; Липаев, 2011; Half, 2017], среди которых наиболее известными [Bhuvanewari et al., 2013] являются каскадная модель (Waterfall model), спиральная модель Бозма (Boehm Spiral model), модель экстрим-программирования (Extreme programming), модель «проворного» программирования (The Agile Software Process), модель RUP (Rational Unified Process) и др. Каждая из перечисленных выше моделей обладает своими достоинствами (и недостатками), но общим их недостатком, по нашему мнению, является то, что все они, в конечном счете, скорее методологические рекомендации и требования, чем формальные модели жизненного цикла проектирования ПО, которые могут быть основой для автоматизации процессов создания прикладных интеллектуальных систем.

Вот почему в последнее время все большее внимание исследователей и разработчиков ПО привлекают семантические модели, среди которых ведущее положение занимают онтологии [Hesse, 2005; Thaddeus et al., 2006;

Henderson-Sellers, 2011; Bhatia et al., 2016; Бопрест, 2017]. При этом в рамках направления OBSE (Ontology-based Software Engineering) активно развиваются как теоретические аспекты онтологического моделирования [Mendes et al., 2005; Nianfang et al., 2010; Strmečki et al., 2016], так и соответствующие инструментальные средства [Aßmann et al., 2013; Bhatia et al., 2014]. Определенные результаты имеются в области создания ПО прикладных систем на базе онтологических моделей и в нашей стране [Gribova, 2007; Бармина и др., 2017; Андрианов, 2018]. Вместе с тем, OBSE для реализации лингвистических процессоров – все еще мало проработанная область.

С учетом всего вышесказанного, в настоящей работе предлагается использовать методы и средства онтологического инжиниринга для автоматизации проектирования ИЕ-систем.

## **1.2. Платформа GATE – архитектура и функционалы**

Платформа GATE (General Architecture for Text Engineering) – это инфраструктура для разработки и развертывания программных компонентов обработки ЕЯ-текстов с открытым кодом [Cunningham, 2002], которая разрабатывается и развивается уже больше 20 лет, как ее авторами из Шеффилдского университета Великобритании, так и международным сообществом. В создание и развитие GATE уже инвестировано более €5 млн. В настоящее время основу платформы GATE составляют:

- интегрированная среда разработки компонентов обработки ЕЯ в комплекте с системой извлечения информации из текстов ANNIE и библиотекой плагинов;
- облачное решение для широкомасштабной обработки текстов GATE Cloud;
- веб-приложение GATE Teamware – инфраструктура семантического аннотирования корпусов документов;
- поисковый репозиторий GATE Mimir;
- библиотека объектов GATE Embedded, оптимизированная для включения в различные приложения.

Помимо основных функционалов GATE включает различные компоненты обработки ЕЯ-текстов, такие как парсинг, морфология, тегирование, инструменты поиска информации, модули извлечения информации, компоненты для разных языков и др. Все компоненты GATE имеют формальные XML-спецификации, которые могут быть базисом для онтологического моделирования как самой платформы и ее компонент, так и проектируемых лингвистических процессоров.

С учетом вышесказанного, в оставшейся части настоящей работы обсуждаются вопросы онтологического моделирования процессов проектирования лингвистических процессоров на платформе GATE.

## 2. Автоматизация проектирования лингвистических процессоров на платформе GATE

### 2.1. Онтологическая модель платформы GATE

Как отмечалось выше, компоненты платформы GATE представляют собой «многоязычные» фрагменты ПО с четко определенными интерфейсами и представлены в трех вариантах:

- Language Resources (LR) – документы, корпуса и аннотации;
- Processing Resources (PR) – алгоритмические обработчики LR;
- Visual Resources (VR) – компоненты визуализации и редактирования, участвующие в графических интерфейсах.

С учетом целей настоящей работы в онтологическую модель платформы GATE включены только модели LR и PR, которые в данном случае проектировались с помощью инструментария онтологического инжиниринга Protégé [Musen, 2015]. В силу ограничений на объем статьи ниже приводится только скриншот фрагмента онтологической модели платформы GATE (рис. 1).

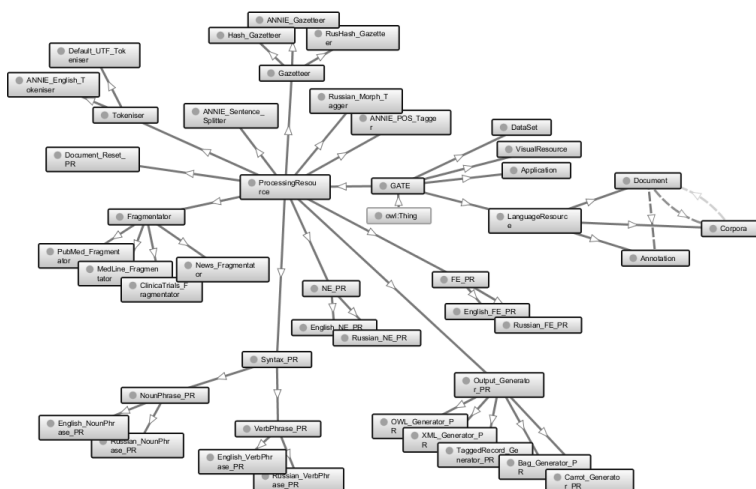


Рис. 1. Фрагмент онтологической модели платформы GATE

## 2.2. Онтологическое моделирование лингвистических процессоров

С учетом онтологической модели платформы GATE, представленной выше, общая модель лингвистических процессоров, разрабатываемых на этой платформе, может быть специфицирована следующим образом (рис. 2).

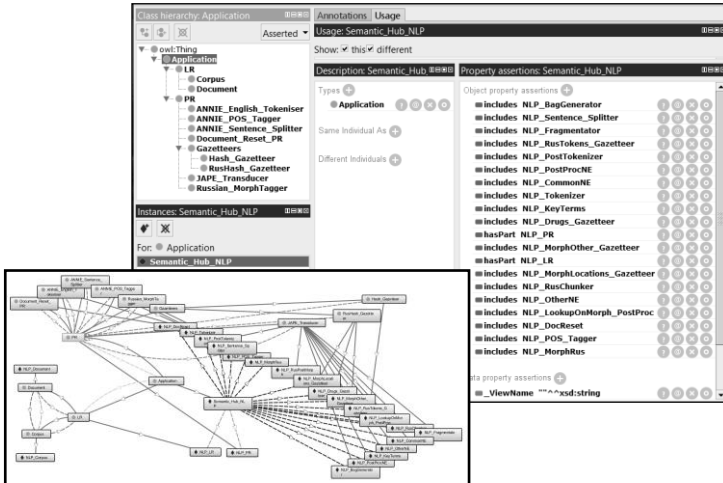


Рис. 2. Онтологическое моделирование лингвистических процессоров в системе Protégé

В данной модели специфицированы все основные типы компонент лингвистических процессоров, а также семантически значимые связи между ними. При этом на уровне типов компонент специфицируются статические параметры и параметры периода исполнения. Ниже, для примера, во фреймовом формализме представлены спецификации компонент `Tokenizer`-а и `Jape Transducer`-а обработки именных групп.

```
[NLP_Tokenizer isa ANNE_English_Tokeniser;  
  class = "gate.creole.tokeniser.DefaultTokenizer";  
  encoding = "UTF-8";  
  tokeniserRulesURL = "resources/tokeniser/DefaultTokenizer.rules";  
  transducerGrammarURL = "resources/tokeniser/postprocess.jape"]
```

```
[NLP_RusChunker isa JAPE_Transducer;  
  class = "gate.creole.Transducer";  
  encoding = "UTF-8";  
  grammarURL = "E:/.../mainRusChunker.jape"]
```

Кроме того, в модель включены экземпляры нужных для обработки ЕЯ-текстов компонент и отношения порядка между ними.

Таким образом, разработанная онтологическая модель представляется достаточно удобной для использования в системе автоматизации разработки и реализации лингвистических процессоров.

### 2.3. Генерация лингвистических процессоров под управлением онтологических моделей

Для генерации лингвистических процессоров разработан конвертор, на вход которого поступают онтологические модели платформы GATE и проектируемых на этой платформе лингвистических процессоров (NLP), а на выходе формируется Java-код загрузки соответствующего NLP. При этом спецификации нужных компонент NLP извлекаются из экземпляров его онтологии.

Ниже, для примера, приведен фрагмент генерируемого конвертором Java-кода для процессора `Semantic_Hub_NLP`, спроектированного для обработки текстов из специализированной социальной сети «ДокторНаРаботе». При этом активно используется библиотека классов платформы GATE Embedded.

```
1 // load Semantic_Hub_NLP plugin
2 Gate.getCreoleRegister().registerDirectories(new File(
3     Gate.getPluginsHome(), "Semantic_Hub_NLP").toURI().toURL());
4 // create a serial analyser controller to run Semantic_Hub_NLP with
5     SerialAnalyserController procController =
6         (SerialAnalyserController) Factory.createResource(
7             "gate.creole.SerialAnalyserController", Factory.newFeatureMap(),
8             Factory.newFeatureMap(), "Semantic_Hub_NLP");
9 // load each PR as defined in its ontological specification
10 for (int i = 0; i < NLPConstants.PR_NAMES.length; i++){
11     // use default parameters
12     FeatureMap params = Factory.newFeatureMap();
13     ProcessingResource pr = (ProcessingResource)
14         Factory.createResource(NLPConstants.PR_NAMES[i], params);
15     // add the PR to the pipeline controller
16     procController.add(pr);
17 } // for each NLP PR
18 // Tell NLP's controller about the corpus should be run on
19 Corpus corpus = ...;
20 procController.setCorpus(corpus);
21 // Run Semantic_Hub_NLP
22 procController.execute();
```

Как следует из приведенного выше фрагмента результатов конвертирования, в Java-коде всего три «точки» (выделены курсивом), зависящих от онтологических моделей. Поэтому сам конвертор достаточно прост и не требует больших вычислительных ресурсов.

После генерации сформированный процессор *Semantic\_Hub\_NLP* компилируется стандартными инструментами JDK (Java Development Kit) и может быть запущен на исполнение.

В нашем случае результатом работы этого процессора является аналитический отчет, в котором представлены статистические и семантические «карты» (рис. 3) обсуждений новых препаратов для лечения онкологических заболеваний в специализированных социальных сетях (<https://www.drugs.com/answers/support-group/xofigo/>).

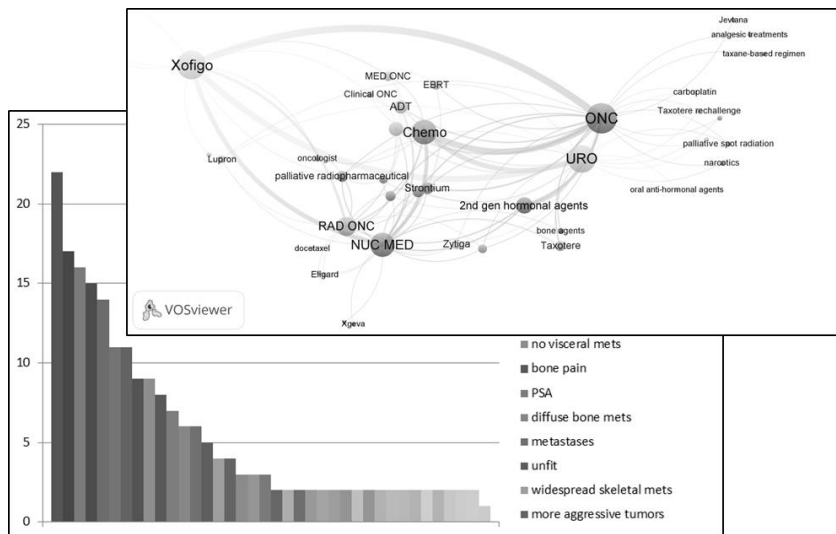


Рис. 3. Фрагменты аналитики на результатах из социальной сети обсуждений новых препаратов для лечения онкологических заболеваний

## Заключение

В работе обсуждаются вопросы онтологического моделирования лингвистических процессоров, проектируемых с использованием платформы GATE, и методы их генерации под управлением разработанных онтологических моделей. Приведены результаты использования разработанных онтологических моделей для генерации лингвистического процессора обработки постов в социальных сетях, где обсуждаются новые препараты для



лечения онкологических заболеваний. Показано, что предложенный подход может быть положен в основу системы автоматизации проектирования систем извлечения информации из ЕЯ-текстов.

В дальнейшем предполагается использование предложенного подхода для генерации программного обеспечения прикладных интеллектуальных систем под управлением онтологий.

### Список литературы

- [Андреинов, 2018] Андреинов А.В. Проектирование онтологической модели информационно-аналитической системы // Международный научный журнал «Молодой учёный», 2018, № 9 (195).
- [Бармина и др., 2017] Бармина О. В., Никулина Н. О. Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях // Онтологии проектирования, 2017, Т. 7, № 1(23).
- [Бек, 2003] Бек К. Экстремальное программирование: разработка через тестирование. – СПб.: Питер, 2003.
- [Боргест, 2017] Боргест Н.М. Границы онтологии проектирования // Онтологии проектирования, 2017, Т. 7, № 1(23).
- [Липаев, 2011] Липаев В.В. Проектирование и производство сложных заказных программных продуктов. – М.: СИНТЕГ, 2011.
- [Abmann et al., 2013] Abmann U, Zivkovic S, Miksa K, Siegemund K, Bartho A, Rahmani T, Thomas E, Pan J.Z. Ontology-Guided Software Engineering in the MOST Workbench // In: Ontology-Driven Software Development. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [Bhatia et al., 2014] Bhatia M.P.S., Beniwal R, Kumar A. An ontology based framework for automatic detection and updation of requirement specifications // International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). IEEE. 2014.
- [Bhatia et al., 2016] Bhatia M. P. S., Kumar A., Beniwal R. Ontologies for Software Engineering: Past, Present and Future // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol 9(9).
- [Bhuvaneswari et al., 2013] Bhuvaneswari T, Prabakaran S, A Survey on Software Development Life Cycle Models // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2013. Vol. 2. Iss. 5.
- [Boehm, 1986] Boehm B, A Spiral Model of Software Development and Enhancement // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 1986. 11(4).
- [Cunningham, 2002] Cunningham H. GATE, a General Architecture for Text Engineering // Computers and the Humanities. 2002. 36.
- [Efimenko et al., 2018] Efimenko I.V., Khoroshevsky V. F. Identification of Promising High-Tech Solutions in Big Text Data with Semantic Technologies: Energy, Pharma, and Many Others (Chapter 16. Advanced Methods) // In: Innovation Discovery. Network Analysis of Research and Invention Activity for Technology Management. / Edited by: Tugrul Daim, Alan Pilkington. 2018.
- [Gribova, 2007] Gribova V. Automatic generation of context-sensitive help using a user interface project // Proc. of XIII Intern. Conf. “Knowledge-dialogue-solution” – Varna. 2007. Vol. 2.

- [Half, 2017] Half R. 6 Basic SDLC Methodologies: Which One is Best? – <https://www.roberthalf.com/blog/salaries-and-skills/6-basic-sdlc-methodologies-which-one-is-best>.
- [Henderson-Sellers, 2011] Henderson-Sellers B. Bridging metamodels and ontologies in software engineering // Journal of Systems and Software. 2011. 84(2).
- [Hesse, 2005] Hesse W. Ontologies in the Software Engineering process // Proceedings of the 2nd GI-Workshop on Enterprise Application Integration (EAI-05), Marburg, Germany. 2005.
- [Mendes et al., 2005] Mendes O., Abran A. Software engineering ontology: A development methodology // METRICS NEWS. 2005. 9.
- [Musen, 2015] Musen M. A. The protégé project: a look back and a look forward // Newsletter AI Matters. 2015. Vol. 1 Issue 4.
- [Nianfang et al., 2010] Nianfang X., Xiaohui Y., Xinke L. Software components description based on ontology // Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation, IEEE XPlore Press. 2010.
- [Rational, 1998] Rational Unified Process: Best Practices for Software development Teams. Rational Software White Paper TP026B, Rev 11/01. – [https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1251/1251\\_bestpractices\\_TP026B.pdf](https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1251/1251_bestpractices_TP026B.pdf).
- [Strmečki et al., 2016] Strmečki D., Magdalenić I., Kermek D. An Overview on the use of Ontologies in Software Engineering // Journal of Computer Science. 2016. 12(12).
- [Thaddeus et al., 2006] Thaddeus S, Raja S.K. Ontology-driven Model for Knowledge-Based Software Engineering // SEKE. 2006.

УДК 004.82:130.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЯЗЫЧНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА ТРЕВОЖНЫХ СОБЫТИЙ<sup>1</sup>

М.М. Шарнин (*mc@keywen.com*)

Институт проблем информатики  
Федерального исследовательского центра  
«Информатика и управление» РАН, Москва

Н.С. Ищенко (*niofterna@gmail.com*)

Луганская государственная академия культуры и  
искусств им. М. Матусовского, Луганск

Н.Ю. Пахмутова (*vidsilvestre@gmail.com*)

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, Москва

В статье изложены результаты практического применения методов тематического моделирования в мультиязыковых средах для мониторинга экстремистской активности в Интернете и прогноза тревожных событий. При работе с двумя корпусами текстов, содержащих экстремистскую идеологию радикальных мусульман и украинских националистов, определена динамика интереса к идейно важным темам, что позволяет прогнозировать тревожные события в реальности.

**Ключевые слова:** тематическое моделирование, Big Data, индекс идеологического влияния, неявные ссылки, метод неявного контекстного цитирования, индекс идеологического влияния, общие характерные термины, специфические характерные термины, прогноз тревожных событий, мультиязыковые среды

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00756, 16-29-09527).

## Введение

Прогнозирование тревожных событий на основе данных сетевой активности – сложная задача. Тревожные события включают в себя нагнетание конфликтов в разных сферах общественной жизни, эскалацию насилия, теракты. Сетевая активность, которая сопровождает появление тревожных событий, направлена на распространение экстремистских идеологий, легитимирующих применение насилия в отношении антагонистов этой идеологии. Авторский коллектив исходит из гипотезы, что тревожные события, вызванные деятельностью определенной экстремистской группы, коррелируют с сетевой активностью этой группы или других групп, распространяющих ту же экстремистскую идеологию.

Для выявления таких групп в мультязыковых средах авторский коллектив предлагает использовать методы тематического моделирования (ТМ), оптимальные параметры которых определяются при работе с реально существующими экстремистскими группами, а именно мусульманскими радикалами и украинскими националистами. Закономерности, найденные на этом материале, позволяют найти общие характеристики сетевой активности экстремистских групп, которые будут использоваться при прогнозе тревожных событий.

### 1. Краткий обзор современных подходов к проблеме

Исследовать сетевую экстремистскую деятельность в мультязыковых средах довольно сложно. Проявления так называемого «языка вражды» *hate speech* (англ.) [Nockleby, 2008], которые являются формальным основанием для санкций в рамках собственной цензурной политики Интернет-ресурсов и надзорных органов, зачастую свидетельствуют лишь об эмоциональной несдержанности пользователя в рамках личного конфликта, даже если содержат прямые призывы к насилию. К тому же экстремисты-манипуляторы чаще действуют скрытно и пропагандируют насилие без явного использования языка вражды или при его минимальном использовании.

Другие причины сложности исследования – постоянный рост количества текстов и сложность автоматизации тем этой предметной области. В зарубежных и отечественных исследованиях для семантического анализа сайтов интересующей нас предметной области используется метод скрытого распределения Дирихле (Latent Dirichlet Allocation, LDA). Наиболее популярные современные методы автоматизации основаны на тематическом моделировании текстов с использованием латентно-семантического анализа, который работает с матричным представлением коллекции текстов, получаемым с помощью модели «мешок слов» (англ. *bag-of-words*).

## 2. Авторская методика – выявление экстремистских сайтов с помощью индекса идеологического влияния

Индекс идеологического влияния (ИИВ) – это показатель степени экстремизма сайтов, обладающий прогнозными свойствами и рассчитываемый с помощью метода неявного контекстного цитирования. Расчет ИИВ основан на вероятностной модели влияния (impact) тем и идей сайта на темы и идеи сайтов схожей тематики. ИИВ позволяет находить наиболее влиятельные сайты (источники идей) для коллекции в целом и для каждой входящей темы коллекции. Авторским коллективом разработана методика нахождения семантического подobia между текстами на разных языках и апробирована релевантность использования ИИВ для анализа экстремистских сайтов в мультязыковых средах [Хакимова и др., 2018].

### 2.1. Теоретические основы авторской технологии

Основой метода латентно-семантического анализа, используемому в тематическом моделировании, является анализ явных и неявных ссылок между статьями [Bettencourt, 2006; Jacobs, 2013; Jee et al, 2012]. Те же подходы применимы и к анализу экстремистских сайтов [Золотарев и др., 2016; Клименко и др., 2016; Меркурьева и др., 2017; Цыганов и др., 2017; Charnine et al, 2016]. Анализ лексики на разных языках и за длительный период позволяет обнаружить динамику употребления термина и найти корреляцию с тревожными событиями в разное время. На рис. 1 представлен график употребления термина-антагониста «кафир» в англоязычных документах.

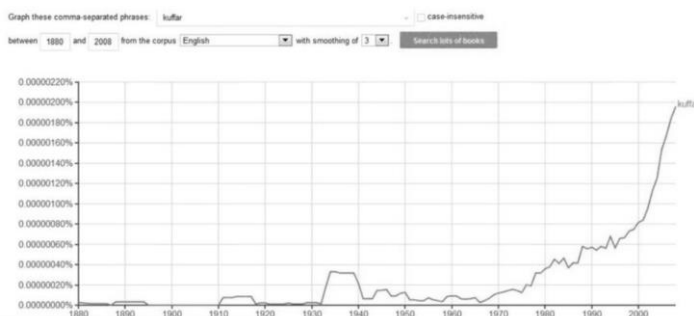


Рис. 1. Динамика роста употребления термина-антагониста “kuffar” в книгах на английском языке

Динамика употребления термина показывает его рост в некоторые периоды. Этот рост – тревожное событие, по которому уже в 1977 году (40 лет назад) можно было прогнозировать рост террористической активности и вероятность будущих терактов (ИГИЛ) [Клименко и др., 2018].

## **2.2. База данных (БД) и тезаурус идей**

Лексические ресурсы проекта включают в себя коллекции текстов, списков тем, словарей терминов, значимых словосочетаний (ЗС) и ключевых фраз. Для хранения лексических ресурсов проекта используется база данных (БД), связи в которой организованы в виде тезауруса идей. Документы БД представляют собой смеси тем, где тема определяется распределением вероятностей по словам [Steyvers, Griffiths, 2007].

## **2.3. Направленный семантический поиск**

Сбор данных из социальных сетей осуществляется системой IQBuzz [IQBuzz.pro]. Сбор данных из Интернет осуществляется авторской системой «KeyCrawler Интернета для систем извлечения знаний» [Galina et al., 2015; Галина и др., 2015; Charmine, 2013; Шарнин и др., 2013; Хакимова и др., 2016].

Направленный семантический поиск позволяет выявить в сети те сайты, которые распространяют экстремистские идеологии. В работе исследовались документы, содержащие две идеологии – радикальных мусульман и украинских националистов, общим признаком которых является формирование коллективной элитарности.

## **3. Обоснование методики работы с группами характерных терминов для прогноза тревожных событий**

При исследовании исходим из того, что экстремистский сайт создан экстремистской группой. Экстремистская группа обладает специфическими признаками, и самый важный из них – формирование коллективной элитарности участников.

### **3.1. Формирование коллективной элитарности как элемент экстремистской идеологии**

Коллективная элитарность представляет собой комплекс идей, создающий у носителя чувство избранности по признаку принадлежности к некоторой группе. Основным признаком сформированной коллективной элитарности является наличие коллективного антагониста. Коллективный антагонист – это группа в пространстве коммуникаций, выступающая как носитель антиценностей. Само существование коллективного антагониста несовместимо с существованием экстремистской группы. Его уничтожение является важной целью группы, обоснованной на религиозном, политическом, идеологическом уровне. Для идеологического обоснования такого поведения по отношению к коллективному антагонисту используются методы дегуманизации противника, которые работают без использования языка ненависти и не вычисляются обычными способами. Наша методика

позволяет отследить формирование коллективной элитарности на той стадии, когда дегуманизация только начинается и призывы к уничтожению еще не имели места (подробнее см. в статье [Клименко и др., 2016]).

### **3.2. Реальные экстремистские группы, формирующие коллективную элитарность с использованием терминов-антагонистов**

В работе с помощью системы IQBuzz исследовались две коллекции документов 473 МБ и 1318 МБ из различных социальных сетей, собранные по запросам «кафиры» и «ватники». Апробация методики на конкретных примерах – анализ коллекций на тему «ватники-москалы», «кафиры» – подробно изложены в статьях [Клименко и др., 2016; Хакимова и др., 2016].

### **3.3. Анализ терминов в двух коллекциях документов, отобранных по критерию использования терминов-антагонистов**

В ходе дальнейшей работы был использован предложенный авторами ИИВ для определения источника экстремистской идеологии.

Анализ полученных с помощью ИИВ коллекций позволяет выделить разные группы характерных терминов и соответствующие темы.

### **3.4. Выделение разных групп характерных терминов**

К первой группе относятся термины, которые входят в обе коллекции примерно одинаковое число раз. Это общие характерные термины (ОХТ). В скобках приведены частоты термина в коллекциях «кафиры» и «ватники». Анализируя термины, можно выделить общие темы для обеих коллекций:

- тема «война» представлена терминами убиты (369, 326), сражались (202, 201), невинных (137, 162);
- тема «терроризм» представлена терминами теракты (145, 174), терроризм (166, 140, 0), экстремисты (64, 79), казнили (64, 68);
- тема «призывов к насилию» представлена терминами устрашения (36, 90), вероломно (45, 65), святыни (52, 58), взрывают (59, 58), возненавидели (43, 43).

Следующая группа, выделенная при работе с двумя коллекциями – специфические характерные термины (СХТ), которые чаще встречаются в документах одной из групп.

В документах с мусульманской радикальной идеологией специфические характерные термины формируют следующие темы:

- «священная война» – представлена терминами: джихад (1670, 41), мусульманами (1478, 35);
- «оскорбления антагонистов с использованием религиофобизмов» – неверных (1075, 45), кафирами (1798, 3), кяфиры (982, 5).

В коллекции, выражающей украинскую националистическую идеологию, специфические характерные термины формируют следующие темы:

- «национализм» – представлена терминами националистов (70, 1675), националисты (57, 1376), национализма (82, 866), политический (99, 912);
- «Великая Отечественная война» – представлена терминами фашистов (30, 1180), оккупанты (9, 309), палачей (17, 165), геноцид (90, 695), Бандера (8, 1112);
- «оскорбления антагонистов по политическому признаку» – представлена терминами сепаратистов (39, 873), политический (99, 912), референдуме (11, 243), пропаганда (127, 1450).

Общие характерные термины относятся к темам войны и терроризма. Специфические термины, которые выходят на первые места в своих группах, формируют особые темы, характерные только для данной группы. В первой группе идейно нагруженными оказываются термины религиозного значения, во второй – термины националистической семантики и термины, связанные с Великой Отечественной войной 1941–1945 гг.

### 3.5. Динамика терминологии и ее роль в прогнозировании тревожных событий

Работа с терминологией корпусов проводилась в течение трех лет. Обнаружено, что растет количество текстов, содержащих экстремистскую идеологию, и растет количество общих характерных терминов в обоих корпусах; для каждого термина можно проследить периоды роста/спада; вероятность тревожных событий коррелирует с динамикой термина.

Рассмотрим термин-антагонист «кафир», по которому выделяется группа, распространяющая радикальную мусульманскую идеологию в сети [Клименко и др., 2018] (рис. 2).



Рис. 2. Количество записей в социальных сетях с термином-антагонистом «Кафир» в день (с 2014-01-01 по 2017-03-01)

Виден рост в 2015 и 2016 годах. Спад в 2017 году коррелирует с разгромом ИГИЛ в Сирии в результате действий правительственных войск, поддержанных РФ. На основании проведенных исследований можно предположить, что прогноз этапов количественного роста/спада экстремистской



терминологии в текстах реализуется в росте или спаде количества тревожных событий в реальности.

#### **4.3. Заключение и план дальнейших исследований**

В ходе работы авторским коллективом использована методика определения ИИВ для нахождения сайтов распространяющих экстремистскую идеологию. Найдены динамические закономерности употребления терминов разных тем и обнаружена корреляция этой динамики с реальными тревожными событиями.

Дальнейший план работ включает анализ многоязычных коллекций; поиск новых экстремистских групп по указанным темам; поиск наиболее значимых текстов в выявленных группах с использованием ИИВ; анализ динамики роста тем в коллекциях по месяцам. Выполнение этих планов позволит находить экстремистские группы в сети; выделять самые влиятельные тексты, которые наиболее полно выражают основные темы новой экстремистской идеологии; рассчитывать динамику распространения основных тем и на этой основе прогнозировать тревожные события.

#### **Список литературы**

- [Галина и др., 2015] Галина И.В., Козеренко Е.Б., Морозова Ю.И., Солин Н.В., Шарнин М.М. Ассоциативные портреты предметной области (АППО) – инструмент автоматизированного построения систем Big Data для извлечения знаний: теория, методика, визуализация аппо, возможное применение // Информатика и ее применения, 2015, Т. 9, Вып. 2.
- [Золотарев и др., 2016] Золотарев О.В., Шарнин М.М., Клименко С.В. Семантический подход к анализу террористической активности в сети Интернет на основе методов тематического моделирования // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление, 2016, № 3.
- [Клименко и др., 2016] Клименко С.В., Шарнин М.М., Ищенко Н.С., Хакимова А.Х. Использование метода неявных ссылок для противодействия распространению деструктивных антигуманистических идеологий в сети Интернет // Международная Школа-семинар «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i для задач мониторинга и безопасности» SCVRT2015-16, Пущино, ЦарьГрад, 2015–2016 гг.
- [Клименко и др., 2018] Клименко С.В., Шарнин М.М., Галина И.В., Мацкевич А.Г., Хакимова А.Х., Соколов Е.Г. Индекс идеологического влияния: базовые модули комплексной методики // Сборник трудов Международной конференции СРТ-2018, 2018.
- [Меркурьева и др., 2017] Меркурьева Н.А., Шарнин М.М., Слободюк Е.А., Цыганов В.В. Построение визуальных карт предметной области для разведочного поиска (exploratory search) // Сборник трудов Международной конференции СРТ-2017, 07–14 мая 2017, Ларнака, Кипр. Изд-во ИФТИ, 2017.

- [**Хакимова и др., 2018**] Хакимова А.Х., Шарнин М.М., Кузнецов К.И. Методы оценки семантического сходства как средства обнаружения межъязыкового плагиата // Международная конференция СРТ2018, 28–31 мая 2018, Царьград, Моск. обл. Изд. ИФТИ, 2018.
- [**Хакимова и др., 2016**] Хакимова А.Х., Шарнин М.М., Клименко С.В., Золотарев О.В., Родина И.В. Мера подобия текстов как инструмент оценки интертекстуальности при анализе больших коллекций документов // Вестник Российского нового университета, 2016, Вып. 4.
- [**Цыганов и др., 2017**] Цыганов В.В., Шарнин М.М., Родина И.В. Построение визуальных карт предметной области с помощью методов тематического моделирования по данным социальных сетей // Сборник трудов Международной конференции СРТ2017, 7–14 мая 2017, Ларнака, Кипр, Изд-во ИФТИ, 2017.
- [**Шарнин и др., 2013**] Шарнин М.М., Сомин Н. В., Кузнецов И.П., Морозова Ю.И., Галина И.В., Козеренко Е.Б. Статистические механизмы формирования ассоциативных портретов предметных областей на основе естественно-языковых текстов больших объемов для систем извлечения знаний // Информатика и ее применения, 2013, Т. 7, № 2.
- [**Bettencourt, 2006**] Bettencourt L. et al. The power of a good idea: Quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models // *Physica A*. 2006.
- [**Charnine et al, 2016**] Charnine M., Klimentko S. Semantic cyberspace of scientific papers // 2017 Int. Conf. on CYBERWORLDS. University of Chester, Chester, UK. In cooperation with the Eurographics Association, ACM SIGGRAPH, and the IFIP. – <http://www.cyberworlds-conference.org> (в печати).
- [**Charnine, 2013**] Charnine M. Keywen: Automated Writing Tools. – Booktango, USA. 2013.
- [**Galina et al, 2015**] Galina I., Charnine M., Somin N., Nikolaev V., Morozova Yu., Zolotarev O. Method for generating subject area associative portraits: different examples // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Artificial Intelligence (ICAI 2015), WORLDCOMP'15, July 27–30, 2015. Las Vegas Nevada, USA. 2015. Vol. I.
- [**IQBuzz.pro**] IQBuzz.pro – Сервис мониторинга социальных медиа и онлайн СМИ. – <http://iqbuzz.pro/about.php>.
- [**Jacobs, 2013**] Jacobs J.A. Receptivity Curves: Educational Research and the Flow of Ideas: Expanded Version, Population Studies Center, University of Pennsylvania, PSC Working Paper Series, PSC 13–10. 2013. – [http://repository.upenn.edu/psc\\_working\\_papers/50](http://repository.upenn.edu/psc_working_papers/50).
- [**Jee et al, 2012**] Jee J., Klippel L., Hossain M., Ramakrishnan N., Mishra B. Discovering the Ebb and Flow of Ideas from Text Corpora // *IEEE Computer*. 2012. 45(2).
- [**Nockleby, 2008**] Nockleby J.T. Hate Speech / In *Encyclopedia of the American Constitution*, ed. L.W. Levy and K.L. Karst, Vol. 3. (2nd ed.), Detroit: Macmillan Reference US. Cited in “Library 2.0 and the Problem of Hate Speech,” by Margaret Brown-Sica and Jeffrey Beall, *Electronic Journal of Academic and Special Librarianship*. 2008. Vol. 9. No. 2.
- [**Steyvers, Griffiths, 2007**] Steyvers M., Griffiths T. Probabilistic Topic Models. – Hillsdale, NJ, USA: Erlbaum. 2007.

## Список авторов

Абрамов М.В.	189	Медгаус С.В.	124
Андреев А.М.	4	Миляков Д.А.	132
Беглер А.М.	53	Михеенкова М.А.	222, 245
Березкин Д.В.	4	Мошкин В.С.	79, 231
Берман А.Ф.	149	Наместников А.М.	79
Большакова Е.И.	253	Наместников А.М.	231
Булгаков А.С.	288	Невзоров В.Н.	271
Бурдо Г.Б.	158	Невзорова О.А.	271
Воробьев В.В.	88	Николаев К.С.	271
Гаврилова Т.А.	13, 53	Николайчук О.А.	149
Гаранина Н.О.	279	Орлов И.А.	141
Грибова В.В.	19	Павловский В.Е.	141
Гусакова С.М.	198	Палюх Б.В.	158
Гуськов Г.Ю.	79, 231	Пахмутова Н.Ю.	297
Демидов Д.В.	61	Подопросветов А.В.	141
Демин А.В.	288	Ровбо М.А.	116
Добрынин Д.А.	205	Романов А.А.	231
Дородных Н.О.	27	Рыбина Г.В.	61
Забезжайло М.И.	213, 245	Самохвалов М.Н.	79
Загорулько Г.Б.	36	Семенов Н.А.	158
Зуенко А.А.	44	Сидорова Е.А.	279
Иванов В.К.	168	Тельнов Ю.Ф.	106
Иванов Д.Я.	97	Тищенко В.И.	70
Иванов К.М.	253	Тулупьев А.Л.	189
Ищенко Н.С.	297	Тулупьева Т.В.	189
Калачихин П.А.	106	Тушканова О.Н.	53
Калянов Г.Н.	176	Фабрикантова Е.Ф.	239
Карпова И.П.	116	Федорищев Л.А.	19
Кириллович А.В.	271	Федяев О.И.	124
Кононенко И.С.	279	Филиппов А.А.	79, 231
Коршунов С.А.	27	Финн В.К.	245
Кудрявцев Д.В.	53	Фонталина Е.С.	61
Кузнецов К.И.	262	Хакимова А.Х.	262
Козлов И.А.	4	Хорошевский В.Ф.	288
Кубельский М.В.	53	Шабанов В.Б.	97
Лещева И.А.	53	Шарнин М.М.	262, 297
Македонов Р.А.	44	Юрин А.Ю.	149, 180
Малтугуева Г.С.	149, 180	Ярушкина Н.Г.	231

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

### СЕКЦИЯ 1. ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ И ОНТОЛОГИИ

<i>Андреев А.М., Березкин Д.В., Козлов И.А.</i> Прогнозирование развития ситуаций на основе анализа потока структурированных данных .....	4
<i>Гаврилова Т.А.</i> Авторский дизайн курса «искусственный интеллект»: онтологический подход .....	13
<i>Грибова В.В., Федорищев Л.А.</i> Онтологический подход к генерации адаптивных WIMP-интерфейсов редакторов баз знаний .....	19
<i>Дородных Н.О., Коришунов С.А.</i> Система моделирования продукции в нотации RVML .....	27
<i>Загоруйко Г.Б.</i> Методические аспекты разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях на основе информационно-аналитических ресурсов .....	36
<i>Зуенко А.А., Македонов Р.А.</i> Локальный поиск при решении задач удовлетворения ограничений, представленных с помощью нечисловых матриц .....	44
<i>Кудрявцев Д.В., Гаврилова Т.А., Лецева И.А., Беглер А.М., Кубельский М.В., Тушканова О.Н.</i> Методика групповой работы по визуальной разработке графа знаний .....	53
<i>Рыбина Г.В., Демидов Д.В., Фонталина Е.С.</i> Автоматизированное получение, представление и обработка темпоральных знаний в динамических интегрированных экспертных системах .....	61
<i>Тищенко В.И.</i> Анализ виртуальной коллаборации в сообществе VOINC.RU .....	70
<i>Филиппов А.А., Мошкин В.С., Наместников А.М., Гуськов Г.Ю., Самохвалов М.Н.</i> Подход к трансляции RDF/OWL-онтологии в графовую базу знаний интеллектуальных систем .....	79

### СЕКЦИЯ 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

<i>Воробьев В.В.</i> Логический вывод и элементы планирования действий в группах роботов .....	88
<i>Иванов Д.Я., Шабанов В.Б.</i> Модель применения коалиций интеллектуальных мобильных роботов при ограниченных коммуникациях .....	97

<i>Калачихин П.А., Тельнов Ю.Ф.</i> Формирование цепочек создания ценности в сетевых структурах взаимодействия на основе интеллектуальных технологий .....	106
<i>Карнова И.П., Ровбо М.А.</i> К вопросу об использовании эмоциональной окрашенности команды при голосовом управлении роботом .....	116
<i>Медгаус С.В., Федяев О.И.</i> Мультиагентный подход к задаче коллективного выбора компромиссного варианта распределения студентов на фирмы .....	124
<i>Миляков Д.А.</i> Новый подход к управлению большой группой беспилотных летательных аппаратов как системой с распределенными параметрами .....	132
<i>Павловский В.Е., Подопросветов А.В., Орлов И.А.</i> Позиционное управление манипулятором на пневматических приводах, основанное на нейронных сетях .....	141

### **СЕКЦИЯ 3. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ**

<i>Берман А.Ф., Николайчук О.А., Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю.</i> Алгоритм согласования знаний экспертов при решении мультидисциплинарных задач .....	149
<i>Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А.</i> Методика оценки решений в автоматизированных системах управления качеством в машиностроении	158
<i>Иванов В.К.</i> Применение теории свидетельств для количественной оценки показателей инновационности объекта .....	168
<i>Калянов Г.Н.</i> Вопросы параллелизма в теории бизнес-процессов .....	176
<i>Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю.</i> Применение прецедентного и многометодного подходов для подбора методов многокритериального выбора ...	180

### **СЕКЦИЯ 4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ**

<i>Абрамов М.В., Тулупьев А.Л., Тулупьева Т.В.</i> Агрегирование данных из социальных сетей для восстановления фрагмента мета-профиля пользователя .....	189
<i>Гусакова С.М.</i> Зависимость особенностей подписи от психофизиологических характеристик ее исполнителя: подход к решению задачи ....	198
<i>Добрынин Д.А.</i> Принципы построения обучаемой системы управления экзоскелетом с использованием ДСМ-метода .....	205

<i>Забержайло М.И.</i> Способны ли машинное обучение и интеллектуальный анализ данных ответить на актуальные вызовы приложений .....	213
<i>Михеенкова М.А.</i> О принципах интеллектуального анализа данных в социальных науках .....	222
<i>Мошкин В.С., Ярушикина Н.Г., Наместников А.М., Филиппов А.А., Гуськов Г.Ю., Романов А.А.</i> Интеллектуальный инструментарий для opinion mining социальных медиа .....	231
<i>Фабрикантова Е.Ф.</i> Применение ДСМ-метода для исследования расстройств шизофренического спектра .....	239
<i>Финн В.К., Михеенкова М.А., Забержайло М.И.</i> Почему я не <i>deep learner</i> ..	245

## СЕКЦИЯ 5. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВ И СЕМАНТИЧЕСКИЙ WEB

<i>Большакова Е.И., Иванов К.М.</i> Выделение терминов и их связей для предметного указателя научного текста .....	253
<i>Кузнецов К.И., Хакимова А.Х., Шарнин М.М.</i> Новый подход к методике оценки семантического сходства разноязычных текстов для обнаружения текстовых заимствований .....	262
<i>Невзорова О.А., Кириллович А.В., Невзоров В.Н., Николаев К.С.</i> Модели семантического контекста математических формул в научных статьях .....	271
<i>Сидорова Е.А., Гаранина Н.О., Кононенко И.С.</i> Многоместные онтологические отношения в задаче разрешения кореференции .....	279
<i>Хорошевский В.Ф., Булгаков А.С., Демин А.В.</i> Генерация лингвистических процессоров для платформы GATE под управлением онтологий .....	288
<i>Шарнин М.М., Ищенко Н.С., Пахмутова Н.Ю.</i> Использование методов тематического моделирования многоязычных коллекций для прогноза тревожных событий .....	297
Список авторов .....	305



*Научное издание*

Сборник трудов  
XVI Национальной конференции по искусственному интеллекту  
с международным участием (КИИ-2018)  
Сборник трудов в 2-х томах  
Том 1

---

Подписано в печать 27.08.2018 г.  
Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 300 экз. Усл. печ. л. 17,9.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20, тел.: 8 (495) 772-95-90 доб. 15285

ISBN 978-5-600-02247-8



9 785600 022478