

**Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий\***

**З. В. Нагоев<sup>1</sup>, И. А. Пшенокова<sup>2</sup>, О. В. Нагоева<sup>2</sup>, М. И. Анчёков<sup>1</sup>, А. З. Энес<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук  
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

<sup>2</sup>Институт информатики и проблем регионального управления –  
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук  
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

**Аннотация.** Разработан контур системы управления интеллектуального агента, обеспечивающий формирование семантических онтологий системы «агент – среда», объединяющих на основе межнейронных ассоциаций функциональные репрезентации текущих наблюдаемых состояний агента и высказываний контрагентов по коммуникативному окружению. На основе алгоритма онтонейроморфогенеза происходит рост аксо-дендрональных связей, который направлен на отражение причинно-следственных отношений между событиями, описывающими контекст ситуации, событиями, описывающими предмет высказывания, и событием, описывающим само высказывание. По результатам экспериментов имитационной модели был сделан вывод, что мультиагентный алгоритм автономного синтеза функциональных систем семантических онтологий на основе роста и развития нейрокогнитивных архитектур может быть применен для любой предметной области.

**Ключевые слова:** системы управления, интеллектуальный агент, мультиагентная система, когнитивные архитектуры

Поступила 23.11.2023, одобрена после рецензирования 05.12.2023, принята к публикации 09.12.2023

**Для цитирования.** Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Анчёков М. И., Энес А. З. Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

MSC: 68T42

Review article

**Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior to automatically replenish ontologies\***

**Z.V. Nagoev<sup>1</sup>, I.A. Pshenokova<sup>2</sup>, O.V. Nagoeva<sup>2</sup>, M.I. Anchekov<sup>1</sup>, A. Z. Enes<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

<sup>2</sup>Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –  
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

© Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Анчёков М. И., Энес А. З., 2023

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-19-00787).

\* The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (grant No. 22-19-00787).

**Abstract.** A circuit of the control system of an intelligent agent has been developed, which ensures the formation of semantic ontologies of the “agent – environment” system, combining on the basis of interneuron associations functional representations of the current observed states of the agent and statements of counterparties in the communicative environment. Based on the ontoneuromorphogenesis algorithm, axo-dendronal connections grow, which is aimed at reflecting the cause-and-effect relationships between events that describe the context of the situation, events that describe the subject of the statement, and the event that describes the statement itself. According to the results of experiments of the simulation model it was concluded that the multi-agent algorithm for the autonomous synthesis of functional systems of semantic ontologies based on the growth and development of neurocognitive architectures can be applied to any subject area.

**Keywords:** control systems, intelligent agent, multi-agent system, cognitive architectures

*Submitted 23.11.2023,*

*approved after reviewing 05.12.2023,*

*accepted for publication 09.12.2023*

**For citation.** Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Anchekov M.I., Enes A. Z. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior to automatically replenish ontologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Онтологии используются в качестве модели для хранения и семантического представления знаний некоторой предметной области [1]. Показателями качественной онтологии являются память, динамичность, лексическая полисемия и автоматизация [2]. Большинство онтологий генерируются вручную экспертами предметной области и специалистами по онтологическому моделированию [3], что требует больших затрат и времени. Поэтому весьма актуальной является задача автоматического генерирования и пополнения онтологий. Цель автоматического пополнения заключается в преобразовании новых знаний в онтологическую форму, применяя для этого методы семантического поиска и извлечения знаний [4, 5]. Большая часть существующих на сегодняшний день систем автоматического пополнения онтологий преобразуют строго структурированные знания в онтологические форматы. Системы, преобразующие неструктурированные знания, еще не до конца разработаны. Кроме того, существующие подходы специфичны для определенной предметной области и требуют ручного вмешательства со стороны экспертов в этой области.

В построении онтологий широко используются методы, основанные на правилах. Эти подходы требуют создания наборов правил или шаблонов для представления знаний, что делает их узкими по объему и зависимыми от предметной области [6].

В [7] предлагается метод метаонтологий в интеллектуальном анализе текстовых ресурсов, учитывающий нечеткость и размытость изображений единиц естественного языка. Использование метаонтологии позволяет организовать поиск информации в большом количестве распределенных гетерогенных хранилищ данных и решать проблему синонимии и неоднозначности семантики объектов.

В [8] разрабатывается независимое от предметной области автоматическое создание онтологии из неструктурированного текстового потока путем генерирования графа знаний. Такая структура позволяет конвертировать новые знания в последовательную онтологическую форму.

В [9] представлено автоматическое пополнение онтологии из обычного текста с использованием предопределенных словарей и методов обработки естественного языка. Однако этот подход имеет медицинскую направленность и довольно затратный для создания моделей и поддержания обширных словарей.

Медицинское направление также представлено в работе [10]. В ней разработана система генерации онтологии болезни Альцгеймера. Для построения онтологии на основе системы Text2Onto путем сочетания подходов машинного обучения с тегами части речи использовался контролируемый словарь вместе со связанными словами. Однако для развития такой системы также необходимо участие экспертов предметной области.

В [11] представлена эволюционная модель на основе онтологий для реагирования на изменения в динамических средах. Она анализирует разнородные слабоструктурированные входные данные, используя изученную онтологию для расширения исходной модели. С помощью такого подхода к обучению онтологий автоматически развивается и пополняется первоначальная модель. Такой подход позволил получить более релевантную картину онтологической модели с учетом изменений окружающей среды без участия экспертов во время выполнения.

Большая часть представленных выше подходов автоматического пополнения онтологий из неструктурированного потока данных являются предметно-ориентированными.

*Цель* настоящей работы – разработать контур системы управления интеллектуального агента, обеспечивающий автоматическое формирование семантических онтологий системы «агент – среда» независимо от предметной области.

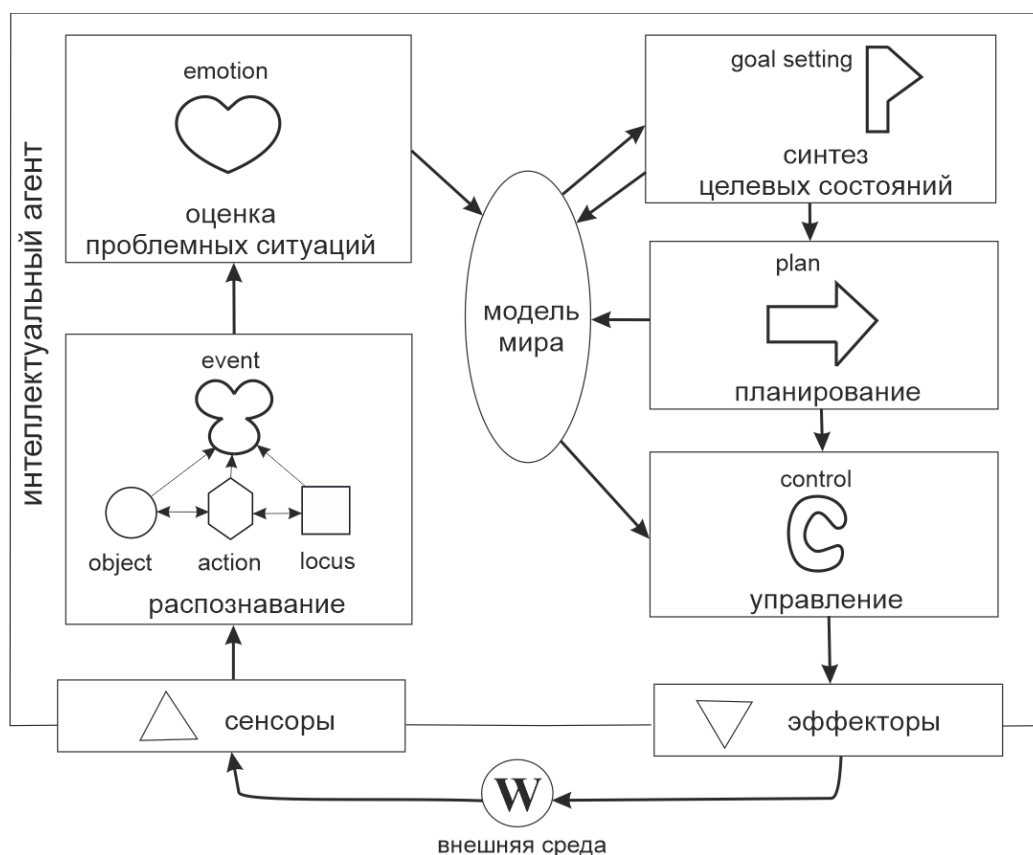
*Задача* исследования – разработать имитационную модель нейрокогнитивной системы управления автономного программного агента, выполняющего кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий.

## 2. МОДЕЛИ СЕМАНТИКИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ НЕЙРОКОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУР

В работе для формализации семантики «агент – среда» предлагается использовать модели на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур [12]. *Научная новизна* представленного исследования состоит в том, что для автоматического пополнения онтологий, описывающих отношения «агент – среда», применяются мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры, которые формируются в процессе ознакомления интеллектуального агента с составом и свойствами окружающих его объектов. Интерактивное формирование пространственных онтологий автономного робота на основе нейрокогнитивных моделей семантики представлено в работах [13, 14].

Система управления автономными программными агентами представляет собой мультиагентную нейрокогнитивную архитектуру, состоящую из взаимодействующих агентов-нейронов (агнейронов), которые объединены в составе инварианта организационной структуры принятия решений [15]. Инвариант состоит из обязательных блоков (рис. 1) распознавания состояний, идентификации и оценки проблемных ситуаций, синтеза целевых состояний, планирования и управления. Взаимодействие с пользователями программным агентом происходит через систему сенсоров и эффекторов.

Интеллектуальный агент имеет базовую архитектуру (рис. 1), которая развивается в процессе его взаимодействия с другими агентами, пользователями или оператором. Автономное пополнение онтологий, выполняющееся на основе развития мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, обеспечивает корректную работу подсистемы понимания речи при постановке задач и синтез поведения, направленный на решение этих задач. При выполнении кооперативного поведения в составе человеко-машинного коллектива очень важно, чтобы в процессе коммуникации агенты оперировали одними и теми же терминами и однозначно их воспринимали.



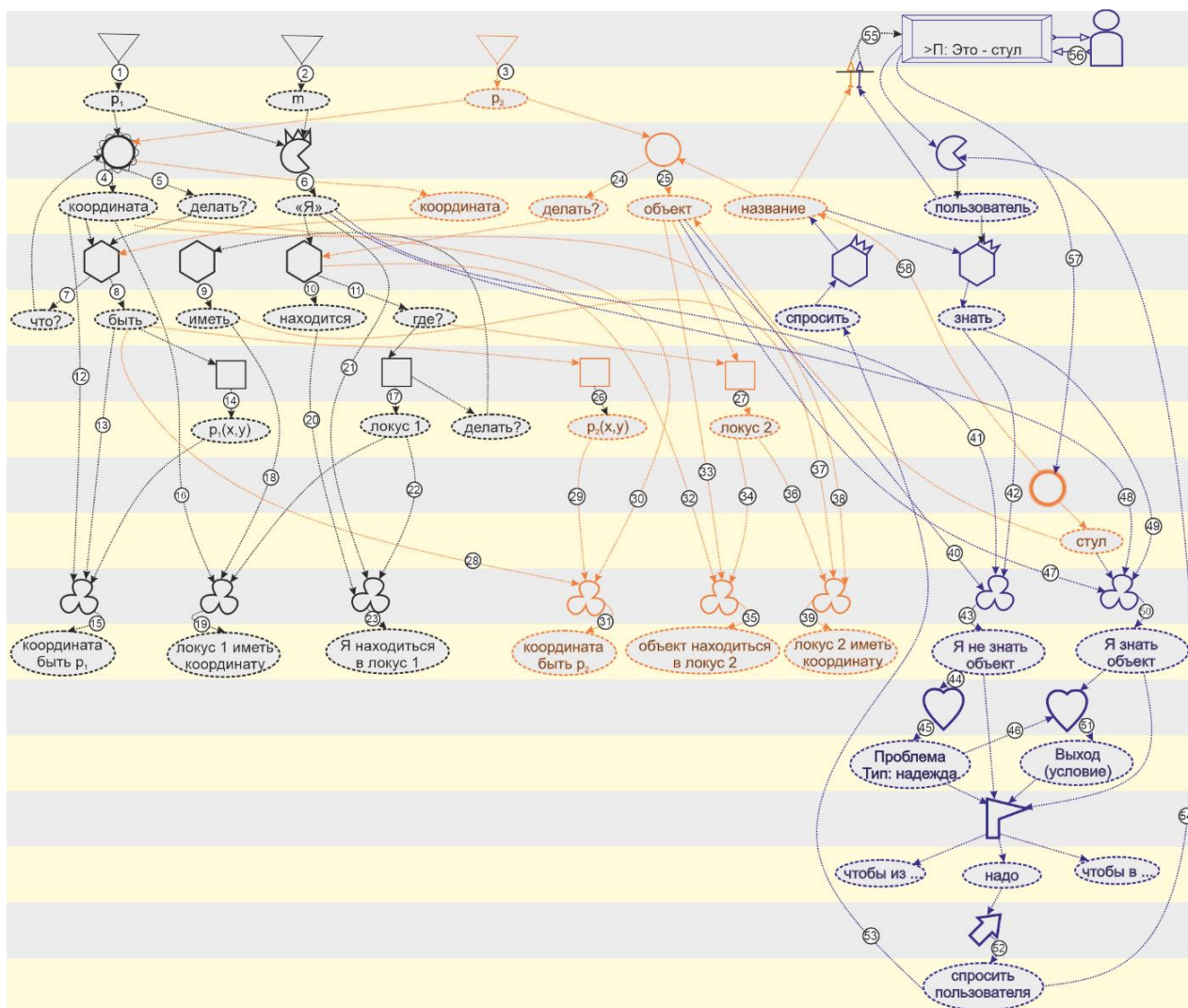
**Рис. 1.** Базовая архитектура интеллектуального агента

**Fig. 1.** Basic architecture of an intelligent agent

Рассмотрим контур системы управления интеллектуального агента, обеспечивающий формирование семантических онтологий системы «интеллектуальный агент – среда», объединяющих на основе межнейронных ассоциаций функциональные репрезентации текущих наблюдаемых состояний агента и высказываний контрагентов по коммуникативному окружению.

На рисунке 2 представлена мультиагентная архитектура системы управления интеллектуальным агентом, который взаимодействует с контрагентом (пользователем) для идентификации событий, наблюдаемых во внешнем мире.

Для восприятия пользователя и объектов во внешнем мире автономный агент, установленный на роботе, использует входной поток данных с видеокамеры. Система распознавания формирует мультиагентные факты (на рисунке представлены событийными агнейронами, которые обозначаются трилистниками с закругленными лепестками), описывающие действия (на рисунке представлены агнейронами действий и обозначены шестиугольниками), объекты (на рисунке представлены объективными и абстрактными агнейронами и изображены кругами), свойства и состояния робота (на рисунке обозначены черным цветом), пользователя (обозначены синим цветом) и объекта (обозначены коричневым). После идентификации событий происходит их оценка (на рисунке представлены агнейронами эмоциональной оценки и обозначены сердечками), в соответствии с которой ставится цель (на рисунке обозначена остроконечным флажком) и синтезируется действие (обозначено широкой наклоненной стрелкой), которое необходимо выполнить для ее достижения.



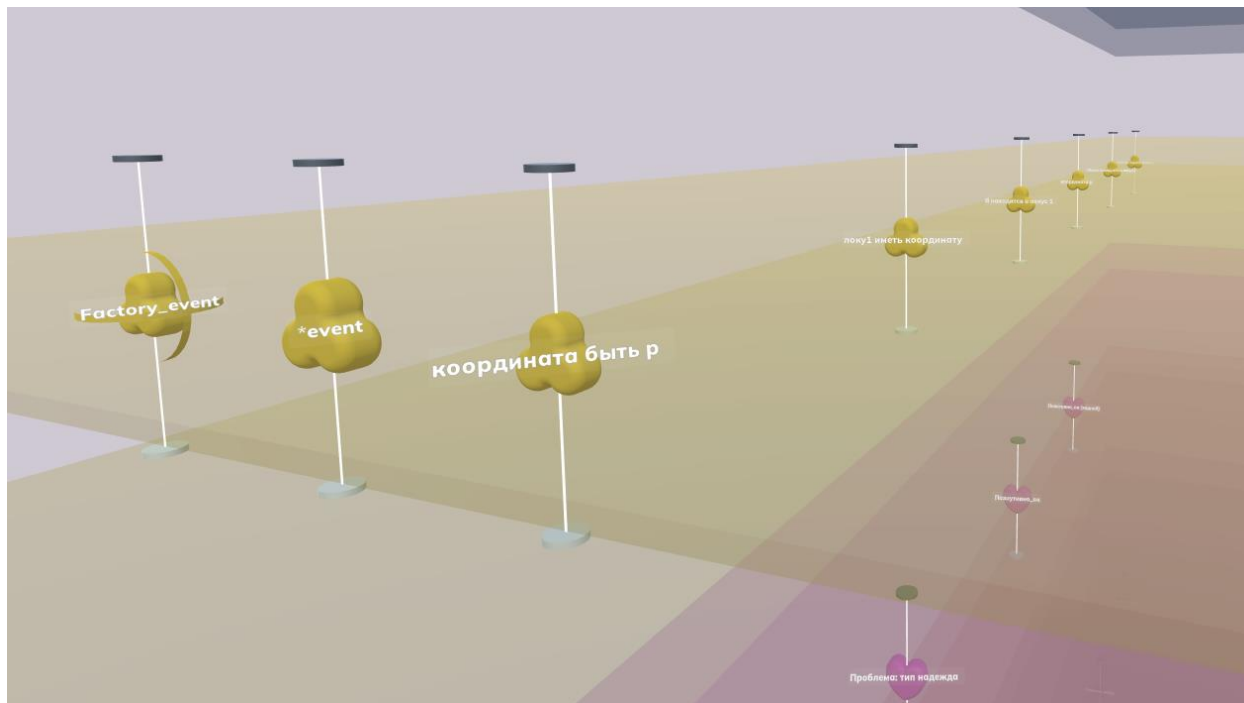
**Рис. 2.** Мультиагентная архитектура системы управления интеллектуального агента для идентификации нескольких событий

**Fig. 2.** Multi-agent architecture of the intelligent agent control system for identifying several events

Диалоговое взаимодействие интеллектуального агента с пользователем находит отражение в нескольких событиях, регистрируемых мультиагентной нейрокогнитивной архитектурой: «Объект находится в локус 2», «Я не знаю объект». После оценки выявленных фактов идентифицируется проблема, которую необходимо решить. Для этого информация передается на вход агнейрону целеполагания, который определяет целевое значение в графе проблемной ситуации в виде состояния в будущем. После того, как определена цель «Я знаю объект», агнейрон целеполагания дает команду (посылает соответствующее сообщение) агнейрону управления действием, который формирует действие «Спросить пользователя». В нейрокогнитивной архитектуре строится мультиагентный факт «Название объекта – стул». Автономный агент считывает это сообщение и строит функциональную репрезентацию слова и концепта «стул».

В результате в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре формируется система функциональных репрезентаций событий, действий и причинно-следственных связей между ними, отражающая опыт взаимодействия интеллектуального агента со средой, в которую он погружен.

Имитационная модель системы управления интеллектуального агента, представленной на рисунке 2, была построена в разрабатываемой авторами автоматизированной среде проектирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. На рисунке 3 представлено трехмерное изображение некоторой части этой архитектуры, построенное подсистемой графической визуализации используемого программного комплекса.



*Рис. 3. Часть управляющей нейрокогнитивной архитектуры для идентификации нескольких событий в окне визуализации программы*

*Fig. 3. Part of the control neurocognitive architecture for identifying several events in the program visualization window*

С целью исследования возможности по интерактивному обучению интеллектуального агента, основанного на мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре, автономному синтезу функциональных систем семантических онтологий был проведен эксперимент. Сначала интеллектуальный агент с помощью сенсоров и подсистемы распознавания выполнял идентификацию всех объектов, их свойств и локаций, отдельно выделяя уже знакомые ему и пока еще не знакомые. В отношении знакомых объектов интеллектуальный агент строил варианты событий с их участием. Если степень значимости этих событий для решения задачи максимизации своей целевой функции в текущем контексте невысокая, то он приступал к ознакомлению (осознанию) новых, незнакомых ему объектов. В результате формировались новые ассоциативные связи между группами агнейронов, которые выполняли функциональную репрезентацию наблюдаемых агентом объектов, их свойств и отношений. Далее на основе алгоритма онтонейроморфогенеза [16] формировались связи, направленные на отражение причинно-следственных отношений между событиями, описывающими контекст ситуации, событиями, описывающими предмет высказывания, и событием, описывающим само высказывание. Сформированные таким образом связи привели к построению функциональных систем семантической онтологии системы «агент – среда». Таким образом, система «интеллектуальный агент – среда» получает дополнительное расширенное представительство в комплексе концептуальных представлений,

обеспечиваемых агентами мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, на основе наблюдения любого фрагмента этой системы. По результатам экспериментов имитационной модели был сделан вывод, что мультиагентный алгоритм автономного синтеза функциональных систем семантических онтологий на основе роста и развития нейрокогнитивных архитектур может быть применен для любой предметной области.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономного программного агента, выполняющего кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий независимо от предметной области.

Разработан контур системы управления интеллектуального агента, обеспечивающий формирование семантических онтологий системы «агент – среда», объединяющих на основе межнейронных ассоциаций функциональные репрезентации текущих наблюдаемых состояний агента и высказываний контрагентов по коммуникативному окружению. Кооперативное поведение агентов в составе человеко-машинного коллектива направлено на построение функциональных систем семантических онтологий. Пополнение онтологий выполняется за счет формирования в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре интеллектуального агента связей, которые направлены на отражение причинно-следственных отношений между событиями, описывающими контекст ситуации, событиями, описывающими предмет высказывания, и событием, описывающим само высказывание.

### REFERENCES

1. Lan M., Xu J. Ontology feature extraction via vector learning algorithm and applied to similarity measuring and ontology mapping. *IAENG International Journal of Computer Science*. 2016. Vol. 43(1). Pp. 10–19.
2. Somodevilla M., Ayala D., Pineda I. An overview on ontology learning tasks. *Comput. Syst*. 2018. Vol. 22(1). Pp. 137–146.
3. Alobaidi M., Malik K.M. Linked open data-based framework for automatic biomedical ontology generation. *BMC bioinformatics*. 2018. Vol. 19(1). Pp. 3–19.
4. Asim M.N. et al. A survey of ontology learning techniques and applications. *Database*. 2018. Vol. 2018. P. 101.
5. Ma Z., Cheng H. et al. Automatic Construction of OWL Ontologies From Petri Nets. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*. 2019. Vol. 15(1). Pp. 21–51.
6. Maynard D., Funk A., Peters W. Using lexico-syntactic ontology design patterns for ontology creation and population. *Proc. of the Workshop on Ontology Patterns*. 2009. Vol. 516. Pp. 39–52.
7. Dzyubanenko A.A., Rabin A.V. Application of the method of metaontologies in the intellectual analysis of text resources considering the fuzziness and blurring of images of natural language units. *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2647. <https://doi.org/10.1063/5.0124340>
8. Elnagar S., Yoon V., Thomas M. A. An automatic ontology generation framework with an organizational perspective. arXiv:2201.05910. 2022.
9. Kumar N., Kumar M., Singh M. Automated ontology generation from a plain text using statistical and NLP techniques. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2016. Vol. 7. Pp. 282–293.
10. Cahyani D.E., Wasito I. Automatic ontology construction using text corpora and ontology design patterns (ODPs) in Alzheimer's disease. *J. Ilmu Komputer dan Informasi*. 2017. Vol. 10(2). Pp. 59–66.

11. Jabla R., Khemaja M., Buendia F., Faiz S. Automatic Ontology-Based Model Evolution for Learning Changes in Dynamic Environments. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11(22). P. 10770. <https://doi.org/10.3390/app112210770>

12. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах // Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. 213 с.

Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

13. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I. Multi-agent neurocognitive models of semantics of spatial localization of events. *Cognitive Systems Research*. 2020. Vol. 59. Pp. 91–102.

14. *Бжухатлов К. Ч., Канкулов С. А., Малышев Д. А. и др.* Интерактивное формирование пространственных онтологий автономного робота на основе нейрокогнитивных моделей семантики // Материалы XVI всероссийской научно-практической конференции и XII молодежной школы-семинара «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону, 2021. С. 147–154.

Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A., Malyshev D.A. et al. Interactive formation of spatial ontologies of an autonomous robot based on neurocognitive models of semantics. *Materialy XVI vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii i XII molodezhnoj shkoly-seminara «Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya»* [Materials of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference and the XII Youth School-Seminar “Advanced Systems and Management Problems”]. Rostov-na-Dony, 2021. Pp. 147–154. (In Russian)

15. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88.

16. *Нагоев З. В.* Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63–71.

Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. (In Russian)

### Информация об авторах

**Нагоев Залимхан Вячеславович**, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

**Пшенокова Инна Ауесовна**, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

pshenokova\_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

**Нагоева Ольга Владимировна**, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva\_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

**Анчёков Мурат Инусович**, науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>



**Энес Ахмед Зюлфикар**, мл. науч. сотр. лаборатории «Компьютерная лингвистика», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;  
ahmedenes@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>

### **Information about the authors**

**Nagoev Zalimkhan Vyacheslavovich**, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;  
zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

**Pshenokova Inna Auesovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory “Intelligent Living Environments”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;  
pshenokova\_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

**Nagoeva Olga Vladimirovna**, Researcher of the Department “Multiagent Systems”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;  
nagoeva\_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

**Anchekov Murat Inusovich**, Researcher of the Laboratory “Molecular Selection and Biotechnology”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;  
murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

**Enes Ahmed Zulfikar**, Junior Researcher of the Laboratory “Computational Linguistics”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;  
ahmedenes@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>